நம்மைச் சுற்றியுள்ள பேரண்டம்

லட்சுமிநரசிம்மன் (கி)

நம்மைச் சுற்றியுள்ள பேரண்டம்

(THE UNIVERSE AROUND US)

ஆசிரியர் :
சர் ஜேம்ஸ் ஜீன்ஸ்

தமிழாக்கம் :
தி. வி. லட்சுமிநரசிம்மன், எம்.ஏ., எம்.எஸ்.ஸி.,
கணிதத்துறை,
சென்னைக் கிறித்தவக் கல்லூரி, சென்னை.

தமிழ் வெளியீட்டுக் கழகம்
தமிழ்நாடு—அரசாங்கம்

தமிழ் வெளியீட்டுக் கழக வரிசை எண் – 64

நம்மைச் சுற்றியுள்ள பேரண்டம்

(THE UNIVERSE AROUND US)

ஆசிரியர் :
சர் ஜேம்ஸ் ஜீன்ஸ்

தமிழாக்கம் :
தி. வி. லட்சுமிநரசிம்மன், எம்.ஏ., எம்.எஸ்.ஸி.,
கணிதத்துறை,
சென்னைக் கிறித்தவக் கல்லூரி, சென்னை.

தமிழ் வெளியீட்டுக் கழகம்
தமிழ்நாடு–அரசாங்கம்

First Edition—February, 1965

B.T.P. No. 64

The Universe Around Us

Sir James Jeans

Translation

T. V. Lakshminarasimhan

© Bureau of Tamil Publications

This translation of 'The Universe Around Us' by Sir James Jeans (Fourth Edition-Revised and Reset) is published by arrangement with the Cambridge University Press, England.

Printed by
Kabeer Printing Works,
Madras-5

அணிந்துரை

(திரு. எம். பக்தவத்ஸலம், தமிழக முதலமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கி ஐந்து ஆண்டுகள் ஆகி விட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் பி.ஏ., வகுப்பு மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்றுவருகின்றனர். தொடக்கத்தில் இருந்த இடர்ப்பாடுகள் மெல்ல மெல்ல மறைந்து வருகின்றன. நாடு முழுதும் பரந்துள்ள மாணவர்களின் ஆர்வம் 'தமிழிலேயே கற்பிப்போம்' என முன்வந்துள்ள கல்வி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளிலும் தொண்டு செய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித்தர முன்வந்த நூலாசிரியர்கள் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத் திட்டம் நம்மிடையே திருப்திகரமாக நடைபெற்றுவருகிறது.

பல துறைகளில் பணிபுரியும் பேராசிரியர்கள் எத்தனையோ நெருக்கடிகளுக்கிடையே குறுகிய காலத்தில் அரிய முறையில் நூல்கள் எழுதித் தந்துள்ளனர்.

வரலாறு, அரசியல், உளவியல், பொருளாதாரம், புவியியல், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல், தத்துவம் ஆகிய பல துறைகளில் தனி நூல்கள், மொழிபெயர்ப்பு நூல்கள் என்ற இருவகையிலும் தமிழ் வெளியீட்டுக் கழகம் நூல்களை வெளியிட்டுவருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான நம்மைச் சுற்றியுள்ள பேரண்டம் என்ற இந்நூல் தமிழ் வெளியீட்டுக் கழகத்தின் 64ஆவது வெளியீடாகும். கல்லூரித் தமிழ்க் குழுவின் சார்பில் வெளியான 35 நூல்களையும் சேர்த்து இதுவரை 99 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன.

கணக்கிலடங்காத் தடைகளை எல்லாம் அகற்றித் தமிழன்னை கல்லூரிக் கலையாசனத்தில் அமர்ந்துள்ளாள். எனவே, இவ்வன்னையை வாழ்த்துவோமாக. உழைப்பின் வாரா உறுதிகள் இல்லை; ஆதலின், உழைத்து வெற்றி காண்போம். தமிழைப் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெற வேண்டும்; அதுவே தமிழன்னையின் குறிக்கோளுமாகும். சென்னைப் பல்கலைக் கழகத்தின் பலவகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம் கலந்த நன்றி உரித்தாகுக.

எம். பக்தவத்ஸலம்

முன்னுரை

இந்தப் புத்தகம் தற்கால விஞ்ஞான ஆராய்ச்சிகளைப்பற்றியும் முறைகளைப்பற்றியும் ஓர் எளிய முறையில் விவரிக்கின்றது. குறிப்பாக, அண்டப் படைப்பு, வளர்ச்சி, அமைப்பு இவைகளை விளக்குகின்றது. என்னுடைய குறிக்கோள் படிப்பவர்கள் எல்லோருக்கும் இந்தப் புத்தகம் நன்ருக விளங்கவேண்டும் என்பதே. சிறப்பு விஞ்ஞான அறிவு இல்லாதவர்களாயினும், அவர்களுக்கும் புரியும்படி எழுத முனைந்திருக்கின்றேன்.

இந்தப் புத்தகத்தில் சில பகுதிகள், பல்கலைக்கழகத்திலும், இதர இடங்களிலும் நான் நடத்திய விரிவுரைகளைத் தழுவியன. இன்னும் சில பகுதிகள் போன இலையுதிர்காலத்தில் (autumn) வானொலியில் நான் நிகழ்த்திய சொற்பொழிவுகளைத் தழுவியன. ஆனால், இவை அனைத்தையும் திரும்பவும் எழுதியிருக்கின்றேன். ஆகையினால், இவை முதலில் இருந்தபடியே முற்றிலும் இல்லை. ஆனால், என்னுடைய சொற்பொழிவுகளையும், வானொலிப் பேச்சுகளையும் வெளியிடும்படி கேட்டுக்கொண்டவர்கள், மேற்சொன்ன பொருள்களை இதில் காணலாம்.

டோர்கிங்
மே 7, 1929

ஜே. எச். ஜீன்ஸ்

இரண்டாம் பதிப்பிற்கான முன்னுரை

இரண்டாம் பதிப்பைத் தயாரிப்பதில் பல எழுத்தாளர்கள், திறனாய்வோர் இவர்களின் கருத்துகளைப் பயன்படுத்தியிருக்கிறேன். இவர்களுக்கு என் நன்றி. அத்துடன் புதிய கோளான ப்ளூடோ, அண்டத்தின் சுழற்சி, பேரண்டத்தின் தோற்ற விரிவு, இன்னும் முதற் பதிப்பிற்குப் பிறகு முக்கியமாகக் கருதப்பட்ட இதர பொருள்களும் சேர்க்கப்பட்டிருக்கின்றன. அதனால் இன்னும் தற்காலத்திற்குரியதாக இந்தப் புத்தகம் எழுதப்பட்டிருக்கிறது.

டோர்கிங்
ஆகஸ்ட் 2, 1930

ஜே. எச். ஜீன்ஸ்

மூன்ரும் பதிப்பிற்கான முன்னுரை

இரண்டாம் பதிப்பை வெளியிட்டபிறகு இந்தப் புத்தகத்தில் குறிப்பிடப்பட்டிருக்கும் சில பொருள்களைப் பொறுத்தவரை, அநேக முக்கிய நிகழ்ச்சிகள் ஏற்பட்டிருக்கின்றன.

அணுக்கள் அளவில் நியூட்ரானும், எலக்ட்ரானும் கண்டுபிடிக்கப் பட்டிருக்கின்றன. மற்ருெரு பக்கம் அண்ட விரிவைப்பற்றியும் பேரண்டக் கதிரியக்கத்தைப்பற்றியும் புதிய தகவல்கள் கிடைத்திருக்கின்றன. இவ்விரண்டிற்கும் மத்தியில் விண்மீன்களின் அமைப்பு, சுழற்சி இவைகளைப்பற்றி நிறமானிமூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஏராளமான ஆராய்ச்சித் தகவல்கள் கிடைத்திருக்கின்றன. ஆகையினுலும், இன்னும் இதர காரணங்களைக்கொண்டும் இந்தப் பதிப்பு முன்னதைவிடப் பெரிதாக்கப்பட்டிருக்கின்றது.

டோர்கிங்
அக்டோபர் 7, 1933

ஜே. எச். ஜீன்ஸ்

நான்காம் பதிப்பிற்கான முன்னுரை

மூன்ரும் பதிப்பிற்குப் பிறகு வானநூல் பல வெற்றிகளுடன் முன்னேறியிருக்கின்றது. அண்டக் கருக்களின் ஆராய்ச்சி, ஞாயிறு, விண்மீன்கள் இவைகளின் கதிரியக்கத்தைப்பற்றி மட்டிலும் அன்றி, இதுவரை புதிராக இருந்த விண்மீன்களின் நிகழ்ச்சிகளைப்பற்றிய விளக்கங்களையும் தாங்கியிருக்கின்றது. இயற்கையில் மிகப் பெரிய பொருளான விண்மீனும், மிகச் சிறிய பொருளான அணுவும் சேர்ந்து நமக்குத் தேவையான புதிய தகவல்களைக் கொடுத்திருக்கின்றன. இதனுல் என் புத்தகத்தில் அநேக மாறுதல்களைச் செய்யவேண்டியதாயிற்று. இந்தப் புத்தகத்தில் பெரும்பகுதியை மறுபடியும் எழுதி, இன்னும் எஞ்சியுள்ள பகுதியைத் தகுந்தபடி திருத்தியும் அமைத்திருக்கின்றேன்.

டோர்கிங்
செப்டம்பர், 1943

ஜே. எச். ஜீன்ஸ்

பொருளடக்கம்

			பக்கம்
முன்னுரை—வானநூல் ஆராய்ச்சி	...	...	1
1. வானத்தை ஆராய்தல்	...	...	15
2. அணுவை ஆராய்தல்	...	...	103
3. கால ஆராய்ச்சி	...	...	170
4. விண்மீன்கள்	...	...	180
5. பேரண்டத்தைப் பகுத்தாராய்தல்	...	...	239
6. ஞாயிற்றுக் குடும்பம்	...	...	267
7. முதலும் முடிவும்	...	...	310

ஒளிப்படங்கள்

ஒளிப்படம்			பக்கம்
I	ப்ளூடோவின் கண்டுபிடிப்பு	...	18
II	தென் சிலுவையின் அண்மையில் பால்வழி	...	19
III	ρ ஒபியூச்சி (ρ Ophiuchi) பகுதியில் பால்வழி	...	20
IV	சாகிடேரியஸில் விண்மீன்—முகில்	...	21
V	ஆன்ட்ரோமீடாவில் உள்ள பெரும் நெபுலா *M* 31-ன் வெளிப்பகுதிகள்	...	26
VI	கோள் நெபுலாக்கள் 1. N.G.C. 2022 2. N.G.C. 6720 (நெபுலாவின் வளையம்) 3. N.G.C. 1501 4. N.G.C. 7662	...	27
VII	சிக்னஸில் நெபுலா	...	28
VIII	சாகிடேரியஸில் ட்ரிஃபிட் நெபுலா *M* 20	...	28
IX	ஓரியன் நெபுலாவில் 'குதிரைத்தலை'	...	28
X	ஆன்ட்ரோமீடாவில் நெபுலா *M* 31	...	29
XI	ஆன்ட்ரோமீடாவில் நெபுலா N.G.C. 891 (பக்கவாட்டில்)	...	30
XII	நெபுலா N.G.C. 7217	...	31
XIII	சிறிய, பெரிய மெகலனிக் மேகங்கள்	...	34
XIV	ஹெர்குலீஸில் *M* 13 என்ற உருண்டைக் கொத்து	...	35
XV	விண்மீன் நிறமாலைகள்	...	36
XVI	விண்மீன் நிறமாலையில் டாப்ளர் விளைவு	...	37
XVII	ஆன்ட்ரோமீடாவில் உள்ள நெபுலா *M* 31-ன் மத்தியப் பகுதி	...	74
XVIII	டிரயாங்குலத்தில் நெபுலா *M* 33	...	75
XIX	பெகாஸஸில் நெபுலா N.G.C. 7331-ம் நெடுந் தூரத்தில் உள்ள மங்கலான நெபுலாக் கொத்தும்	...	76
XX	நெபுலாக்களின் நிறமாலைகள்	...	77
XXI	விர்கோவில் உள்ள நெபுலா N.G.C. 4594	...	80

ஒளிப்படம்		பக்கம்
XXII	பெகாஸஸில்'மங்கலான நெபுலாக் கொத்துகள்...	81
XXIII	இரட்டை நெபுலாக்கள் N.G.C. 4567-8 ...	82
XXIV	உர்ஸா மேஜரில் நெபுலா *M* 81 ...	83
XXV	α, β—துகள்களின் பாதைகள் ...	132
XXVI	α துகள்கள் அணுக்களுடன்,மோதுதல் ...	133
XXVII	கேன்ஸ் விளுடிஸியில் 'சுழல்' நெபுலா *M* 51...	250
XXVIII	நெபுலாத் தோற்றங்களின் வரிசை ...	251
	1. N.G.C. 3379	
	2. N.G.C. 4621	
	3. N.G C. 3115	
	4. N.G.C. 4594 (விர்கோவில்)	
	5. N.G.C. 4565 (பெரினைஸின் முடி)	
XXIX	பேரலை விளைவைக் குறிக்கும் இரண்டு நெபுலாக்கள் (N.G.C. 4395, 4401) ...	274
XXX	நெபுலா N.G.C. 7479 ...	275
XXXI	உர்ஸா மேஜரில் நெபுலா M 101 ...	284
XXXII	சனியும் அதன் வளையங்களின் அமைப்பும் ...	285

தோற்றுவாய்

வானநூல் ஆராய்ச்சி

1610ஆம் ஆண்டு ஜனவரி மாதம் 7ஆம் தேதி அன்று மாலை, பதுவா (Padua) பல்கலைக்கழகத்தைச் சேர்ந்த கலிலியோ காலிலீ (Galileo Galilei) என்ற கணிதப் பேராசிரியர் தானே செய்த ஒரு தொலைநோக்கியை வைத்து வானத்தைப் பார்க்க ஆரம்பித்தார்.

இதற்கு மூன்று நூற்றுண்டுகள் முன்பே ரோஜர் பேகன் (Roger Bacon) என்பவர், மூக்குக் கண்ணுடியை எப்படிச் செய்வது என்பதைக் கண்டுபிடித்ததுமன்றி, விண்மீன்களை நமக்கு வேண்டிய அளவு அண்மையில் காணச் செய்வதற்கான தொலைநோக்கியை எப்படிச் செய்வது என்பதுபற்றியும் குறிப்பிட்டிருந்தார். அதாவது, தூரத்தி லுள்ள ஒரு பொருளிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்களை ஒன்று சேர்த்து, அவைகளை வளைத்துக் குவியப்படுத்தி நம் கண்ணின் விழித்திரையில் விழும்படி செய்ய எப்படி ஒரு லென்ஸ் (lens) செய்வது என்பதைக் காட்டினர். இந்தக் கருவி, மனிதனின் காதில் உள்ள ட்ரம்பெட் (trumpet) என்னும் உறுப்பு எப்படி ஒலி அலைகளை ஒன்றுகச் சேர்த்து அவைகளைக் குவித்து ஒரு துளையினுள் புகச்செய்து காதில் செவிப்பறை (drum) என்னும் உறுப்பின்மேல் பாயச் செய்கிறதோ, அதேபோல், மனிதனின் கண்ணின் பார்வை ஆற்றலை அதிகப்படுத்துகிறது.

இப்படியிருக்க, 1608ஆம் ஆண்டுதான் மூக்குக் கண்ணுடி செய்யும் லிப்பர்ஷே (Lippershey) என்ற ஃபிளாண்டர்ஸ் (Flanders) தேசத்தைச் சேர்ந்த ஒருவரால் முதன்முதலில் தொலைநோக்கி ஒன்று செய்யப்பட்டது. இதைப்பற்றிக் கேள்விப்பட்ட கலிலியோ, இதன் நுட்பங்களை ஆராய்ந்து, தாமே, மேற்சொன்ன தொலை நோக்கியைக் காட்டிலும் சிறந்ததொரு தொலைநோக்கியைச் செய்தார். இவருடைய கருவி இத்தாலிய தேசத்தில் ஒரு பெரிய கிளர்ச்சியை ஏற்படுத்தியது.

இதைப்பற்றி மக்கள் பலவாறு பேசியதால், இந்தக் கருவியை வெனிஸ் (Venice) தேசத்தில் உள்ள டோகே (Doge)யிலும் ஸெனட்டிலும் (Senate) கொண்டு காண்பிக்கும்படி இவரைக் கட்டளையிட்டனர். அந்தத் தினத்தன்று, வெனிஸ் மக்கள் அவர்களுடைய ஸெனட்டர்களில் (Senators) மிக வயது முதிர்ந்தவர், மிக உயர்ந்த ஒரு மணிக்கூண்டின்மேல் வைக்கப்பட்ட தொலைநோக்கியின்மூலம், சாதாரணமாகக் காண்பதற்கு முடியாமல் மிகத் தொலைவில் கடலில் சென்று கொண்டிருக்கும் கப்பல்களை மிக அண்மையில் இருப்பதுபோல் பார்க்கும் காட்சியைக் கண்டனர். இந்தத் தொலைநோக்கி சாதாரணக் கண்களைவிட நூறு மடங்கு அதிக ஒளியை அனுமதிப்பதன்றி, கலிலியோவின் எண்ணப்படி ஐம்பது மைல் தூரத்தில் உள்ள ஒரு பொருளை, ஐந்து மைல் தூரத்தில் உள்ளதுபோல் காண்பிக்கும் ஆற்றல் வாய்ந்ததாய் இருந்தது.

தற்காலக் கருவிகளின் திறமையுடன் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கும்பொழுது இது கருதுமளவிற்கு சிறப்புடையதாகாது. கலிஃபோர்னியாவில் (California) உள்ள மவுண்ட் வில்ஸனில் (Mount Wilson) 100 அங்குலங்கள் அகலமுள்ள துளையை (aperture) உடைய தொலைநோக்கியுள்ளது. இஃது உலகத்திலேயே மிகப் பெரிய தொலைநோக்கியாகும். இது, கலிலியோவின் மிகச் சிறிய கருவியைக் காட்டிலும் 2,500 மடங்கு ஒளியைக் குவிக்கும். இதனால் நம் கண்ணைவிட 2,50,000 மடங்கு ஒளியைப் பெறும். இதைவிட இரண்டு மடங்கு அகலமான துளையைக் கொண்ட தொலைநோக்கியை இப்பொழுது கலிஃபோர்னியாவில் அமைத்து வருகிறார்கள். இது 100 அங்குலம் கருவியைவிட நான்கு மடங்கு ஒளியை அனுமதிக்கும். அதாவது, நம் கண்ணைவிடச் சுமார் ஒரு மிலியன் மடங்கு ஒளியை அனுமதிக்கும். கலிலியோ தான் புதிதாகச் செய்த கருவியின்மேல் கொண்ட ஆர்வத்தினால் இதற்குமுன் அவர் எடுத்துக்கொண்ட (சிந்தித்துவந்த) பிரச்சினையை மறந்துவிட்டார். அவருக்கு இரண்டாயிரம் ஆண்டுகள் முன்பு பிதாகரஸ் (Pythagoras), ஃபிலோலாஸ் (Philolaus) என்பவர்கள் புவி வானவெளியில் அசைவற்றில்லாமல், தன்னைத்தானே 24 மணி நேரத்திற்கு ஒரு முறை அதன் அச்சைச் (axis) சுற்றிச் சுழல்வதால் இரவும் பகலும் ஏற்படுகின்றன என்பதைப் போதித்து வந்தனர். சாமாஸைச் (Samos) சேர்ந்த அரிஸ்டார்கஸ் (Aristarchus) என்ற கிரேக்க தேசத்திலேயே பெரிய கணித மேதை, புவி தன்னைத்தானே சுற்றுவதன்றி, ஞாயிற்றைச் சுற்றி ஒரு வருட காலம் பிரயாணம் செய்கின்றது என்றும் இதனால்தான் பருவங்கள் மாறிமாறி வருகின்றன என்றும் அறிவித்தார்.

இதற்குப் பிறகு இந்தக் கருத்துகள் புறக்கணிக்கப்பட்டன. அரிஸ்டாட்டில் (Aristotle) என்பவர் புவிதான் பேரண்டத்தின் ஓர்

அசையாத மையம் என்று வலியுறுத்தினர். முன் சொன்ன உண்மைகளை மறுத்தே இவ்வாறு கூறினர். இதற்குப் பின் டாலமி என்பவர், வானத்தில் கோள்களின் இயக்கப் பாதைகள் ஒரு சிக்கலான சைகில், எபிசைகில் (epicycles) அமைப்புகள் என்று விளக்கம் கூறினர். இந்த விளக்கத்தின் அடிப்படையும் முன்போலவே, புவிதான் அசைவற்றதென்றும், கோள்கள் இதைச் சுற்றுகின்றன என்பதுமாகும். கிறித்தவ மடங்கள் இந்தக் கொள்கையை ஆதரித்தன. இதைத் தவிர இந்த மடங்கள் வேறு என்ன செய்யக்கூடும் என்பது தெளிவாகவில்லை. ஏனென்றால், கடவுளின் மகன் அவதரித்து, மனித அழிவு, விடுதலை இவைகளில் பங்கெடுத்துக்கொண்ட இந்தப் புவியானது அண்டத்தின் மையமாகத்தான் இருந்திருக்கவேண்டும் என்று நினைப்பதுதான் தெய்வீகத் தன்மையாகும் என்று கருதப்பட்டது.

அப்படியிருந்தும், கிறித்தவ மடங்களிலும், இந்தக் கொள்கை எல்லோராலும் ஆமோதிக்கப்படவில்லை. லிஸியூவைச் (Lisieux) சேர்ந்த சமயத்தலைவரான (Bishop) ஓரஸ்மே (Oresme) என்பவரும், குஸாவைச் (Cusa) சேர்ந்த கார்டினல் நிகோலாஸ் (Cardinal Nicholas) என்பவரும் இதை மறுத்தனர். இவர்களில் இரண்டாமவர் 1440-ல் எழுதியதாவது :

> ‘வெகுநாளாகவே புவி அசைவற்ற பொருள் அன்று என்றும், இது மற்ற விண்மீன்களைப் போலவே இயங்குகின்றது என்றும், தன் அச்சைச் சுற்றி ஒவ்வோர் இரவும் பகலும் சுழல்கின்றது என்றும் கருதுகிறேன்’ என்பதாகும்.

பிற்காலத்தில் இந்தக் கருத்துகளுக்கு பலத்த எதிர்ப்பு கிறித்தவ மடங்களிலிருந்து ஏற்பட்டது. 1600ஆம் ஆண்டு ஜியோர்டானோ ப்ரூனோ (Giordano Bruno) என்பவர் சுட்டெரிக்கப்பட்டார். இதற்குக் காரணம், புவியைத் தவிர பல உலகங்கள் இருக்கின்றன என்பதை வலியுறுத்திப் பின்வருமாறு எழுதியதேயாகும் :

> கடவுளின் திறனும் நற்பண்பும் ஒரு முடிவுள்ள உலகம் ஒன்றைத்தான் படைக்கமுடியும் என்று நான் கருதவில்லை. எண்ணிலடங்காத பல உலகங்களைப் படைக்கக்கூடியது. ஆகையினால், புவியைப் போலவே பல உலகங்கள் இருக்கின்றன. பிதாகரஸைப் போலவே, புவியை ஒரு விண்மீனாக நான் கருதுகிறேன். சந்திரனும், மற்றக் கோள்களும், விண்மீன்களும் இதைப்போலவே படைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவை எண்ணிலடங்காத உலகங்களாகும்.

இவை எல்லாவற்றையும்விட மிகப் பலத்த தாக்குதல் போலந்தைச் (Poland) சேர்ந்த பாதிரியும், வானநூல் அறிஞருமான நிகோலாஸ்

கோபர்னிகஸ் (Nicolaus Copernicus, 1473—1543) என்பவரால்தான் தொடுக்கப்பட்டது. அவருடைய சிறந்த நூலான 'De revolutionibus orbium coelestium' என்பதில் டாலமியின் ஸைகிள், எபிஸைகிள் அமைப்புத் தேவையில்லையென்றும், இதைவிடப் புவியும் மற்றக் கோள்களும் அசையாத ஞாயிற்றைச் சுற்றிவருகின்றன என்று வைத்தால் ஓர் எளிய விளக்கம் காணலாம் என்றும் குறிப்பிட்டிருக்கிறார். இந்தப் புத்தகம் எழுதப்பட்டபின் அறுபது ஆண்டுகள்வரை இந்தக் கோட்பாடுகள் சரியா தவறு என்று தீவிரமாக விவாதிக்கப்பட்டது. முடிவு ஒன்றும் ஏற்படவில்லை. கலிலியோ, இந்தக் கோட்பாடுகளை விரும்பியபோதிலும் இதைப்பற்றிப் பேசாமலிருப்பதே நலம் என்று நினைத்தார்.

கலிலியோ தன்னுடைய தொலைநோக்கியின்மூலம் வானநூல் கோட்பாடுகளை ஆராயக்கூடும் என்பதை அறிந்தார். இதையொட்டி, தொலைநோக்கியை வைத்துப் பால் வழியை ஆராயத் தொடங்கியதும், இதற்குமுன் இந்த மண்டலத்தைப்பற்றிக் கூறப்பட்ட கதைகள் எல்லாம் ஆதாரமற்றதென்றும் முற்றிலும் பொய் என்பதையும் கண்டார். பால் வழியில், மங்கலான விண்மீன்கள் பொன் தூள்கள்போல் வானத்தில் பரப்பப்பட்டிருக்கின்றன என்பதை அறிந்தார். இந்தத் தொலைநோக்கியின்மூலம் மறுபடியும் பார்க்கும்பொழுது சந்திரனின் உண்மையான இயல்பைக் கண்டார். அதன்மேல் உள்ள மலைகள் நிழல்களைப் பரப்பியிருப்பதையும் கண்டார். இதனால் ஜியோர்டானோ ப்ரூனோ (Giordano Bruno) நினைத்தபடி இது நம் உலகத்தைப்போன்ற அமைப்பே என்று நினைத்தார். இந்த நிலையில், வைதீகக் கோட்பாடான புவியின் அசையாத நிலையும், புரட்சிக் கோட்பாடான ஞாயிற்றின் அசையாத நிலையும், மற்றக் கோள்களும் புவியும் இந்த ஞாயிற்றைச் சுற்றிவருகின்றன (விட்டில் பூச்சிகள் மெழுகு விளக்கைச் சுற்றி வருவதுபோல் சுற்றிவருகின்றன) என்பதும், எது உண்மை, எது பொய் என்பதைத் தொலைநோக்கி விளக்குமோ? கலிலியோ வியாழனைத் தன் தொலைநோக்கியின்மூலம் காணும்பொழுது, இந்தக் கோளை நான்கு சிறிய உருவங்கள் சுற்றிவருவதையும்—மெழுகு விளக்கை பட்டுப்பூச்சிகள் சுற்றிவருவதுபோல்—கண்டார். அவர் காண்பது, கோபர்னிகஸ் விவரித்த ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் ஒரு சிறிய மறு உருவம் (replica) என்பதும் பேரண்டத்தின் சிற்ப அமைப்பில் இந்த மாதிரியான அமைப்புகள் புறம்பானதல்ல என்பதற்கான ஓர் ஆதாரமுமாகும். ஜனவரி 30ஆம் தேதி பெலிஸாரியோ வின்டா (Belisario Vinta) என்பவருக்கு அவர் (கலிலியோ) எழுதியதாவது, 'இந்தச் சிறு உருவங்கள் வியாழனைச் சுற்றிவருவது, வெள்ளி, புதன் இன்னும் மற்றக் கோள்களும் ஞாயிற்றைச் சுற்றிவருவதுபோலாகும்' என்பதாகும்.

அவருடைய ஆராய்ச்சியின் உண்மைகள் மிகவும் போற்றத்தக்கன என்பதை ஒன்பது மாதங்களுக்குப் பிறகு வெள்ளியின் பிறையை (phase) ஆராயும்பொழுது தெரிந்துகொண்டார். அதாவது, இந்தக் கோளின் பிரகாசமான புறம், முதலில் பிறை உருவத்திலிருந்து, அரை வட்டமாக மாறி, பிறகு முழு வட்டமாகக் காணப்பட்டு மறுபடியும் அரை வட்டமாக மாறி, பழையபடி பிறையாக மாறுவதைக் கண்டார். இதிலிருந்து, இது சுய ஒளியுடையதன்று என்று தெரிந்தது. ஏனென்றால், அப்படி இருந்தால் எப்பொழுதும் முழு வட்டமாகக் காணப்பட வேண்டும். இந்தக் கோள் சுய ஒளியுடையதன்று என்று தெரிந்தாலும், இரண்டு மாறுபட்ட கருத்துகள் இன்னும் இருக்கின்றன. டாலமியின் எபிஸைகிளில், வெள்ளி, புவியைச் சுற்றி வருவதானால், டாலமியே சொன்னபடி, வெள்ளி, அரைவட்ட அளவிற்குமேல் காணப்படாது. ஆனால், வெள்ளி ஞாயிற்றைச் சுற்றி ஒரு வட்டப்பாதையிலும், அதே நேரத்தில் புவியும் ஞாயிற்றைச் சுற்றி இதைவிடப் பெரிய வட்டப் பாதையிலும் செல்லுமானால் கோபர்னிகஸின் கருத்துப்படி வெள்ளி எல்லாப் பிறைகளிலும் காணப்படவேண்டும். வெள்ளி, புவிக்கும் ஞாயிற்றுக்கும் இடையில் செல்லும்பொழுது முற்றிலும் இருள் சூழ்ந்ததாயிருக்கும் (நாம் காணமுடியாமல்). இதே நிகழ்ச்சி புதனுக்கும் பொருந்தும். வெள்ளியும் புதனும் பிறை நிலைகளை (cycle of phases) முற்றிலும் காண்பிக்காததனால், இதுவே, கோபர்னிகஸின் கருத்து சரியானதன்று என்பதை ஊர்ஜிதப்படுத்துவதாகும் என்று கருதினார்கள்.

கலிலியோவின் தொலைநோக்கி, வெள்ளிப் பிறைநிலைகளெல்லாவற்றையும் முற்றிலும் சரியாகக் காண்பித்ததனால் அவர் சொன்னபடியே 'நம் புலன்களால் உணரக்கூடியவகையில், பெரிய அறிஞர்களால் ஆராயப்பட்ட இரு பிரச்சினைகளுக்குத் தகுந்த ஆதாரங்கள் கிடைத்து விட்டன. அவர்களுடைய முடிவுகள் இரண்டு தனிப்பட்ட வகையானதாக இருந்தன. ஒன்று, கோள்கள் சுய ஒளியுடையனவல்ல என்பதாகும். மற்றொன்று, வெள்ளி, புதன் இவைகளும், இன்னும் மற்றக் கோள்களும் ஞாயிற்றைச் சுற்றிவருகின்றன என்ற மறுக்கமுடியாத உண்மையாகும். இதுவே பிதாகரஸின் கொள்கையும், மற்றும் கோபர்னிகஸ், கெப்ளர் என்பவர்களின் கொள்கையுமாகும். நம் புலன் காட்சியால் நிரூபிக்க முடியாமல் இருந்த இந்த உண்மை, வெள்ளி, புதன் இவைகளைப் பொறுத்தவரையில் சரியானதாகும் என்று இப்பொழுது நிரூபிக்கப்பட்டுவிட்டது'.

கலிலியோவின் இந்த ஆராய்ச்சி முடிவுகளிலிருந்து, கடந்த 2000 வருடங்களாக கொடுக்கப்பட்ட அரிஸ்டாட்டில், டாலமி இன்னும் அநேக அறிஞர்களின் கருத்துகள் முற்றிலும் தவறு என்பது தெளிவாயிற்று. பேரண்டத்தில் மனிதன் தன்னுடைய நிலையை ஆராய்வதில்

அவனுடைய விருப்பங்களும், சுயமரியாதையும் தலைமையாகத் திகழ்ந்தன. மறுக்கமுடியாத உண்மைகள் இவன் தனக்குத்தானே பேரண்டத்தின் மையம் நமக்குச் சொந்தம் என்று ஏற்படுத்திக்கொண்ட நிலையைத் தகர்த்துவிட்டன. இனி, அவன் இருக்குமிடம் பேரண்டத்தில் ஒரு தூசுக்குச் சமம் என்ற உண்மையை ஏற்று மனித வாழ்க்கையின் சிறப்பை இதற்கு ஏற்றபடி உணரவேண்டும்.

இந்த நிலைக்கு ஏற்றவாறு அவன் தன்னை உடனே சீர்படுத்திக் கொள்ளவில்லை. மனித அறியாமை, கிறித்தவ மடத்தின் ஆதரவினால் வலிமை ஊட்டப்பட்டதனால், பேரண்டத்தில் புவியின் நிலையைச் சிறுமைப்படுத்தத் துணிந்தவர்களின் வாழ்க்கையைக் கடினமாக்கியது. கலிலியோ, தன்னுடைய கொள்கைகளைக் கைவிட நேர்ந்தது. பதினெட்டாம் நூற்றாண்டுவரை பழமையான பாரீஸ் பல்கலைக்கழகம் (University of Paris) புவி ஞாயிற்றைச் சுற்றுகிறது என்னும் கருத்து வசதியானதாக இருந்தாலும் தவறான கருத்தே என்று போதித்து வந்தது. இதைவிட, சமீப காலத்தைச் சேர்ந்த அமெரிக்கப் பல்கலைக் கழகங்களான ஹார்வார்டும் (Harvard) யேலும் (Yale) டாலமியின் கொள்கையையும், கோபர்னிகஸின் கொள்கையையும் சேர்த்துப் போதித்துவந்தன. அதாவது, இரண்டும் உண்மைதான் என்று நம்பும்படி செய்தன. மனிதர்கள் எப்பொழுதும் தங்கள் தலையை மண்ணில் புதைத்துக்கொண்டிருக்க முடியவில்லை. இந்தக் கொள்கையின் (கோபர்னிகஸின் கொள்கை) தராதரத்தை உணர்ந்த உடன், கலிலியோவினால் 1610ஆம் ஆண்டு ஜனவரி 7ஆம் தேதி கண்டறியப்பட்ட உண்மைகளும் சேர்ந்து மனித சரித்திரத்திலேயே ஒரு பெரிய மாறுதலை ஏற்படுத்திவிட்டது. இந்தப் புரட்சி, கருத்தியலில் (abstract thought) மட்டும் மாறுதலை ஏற்படுத்திவிடவில்லை. மனித வாழ்க்கையையே ஒரு புதிய விதமாகக் காட்டிவிட்டது. மனிதனின் நோக்கம், அவா இவைகளைப் புதிய பாதையில் செலுத்தியது.

அடிக்கடி சொல்லப்பட்ட இந்தக் கதையை மறுபடியும் சொன்னதன் காரணம், வானநூலில் இப்பொழுது மக்களுக்கு உள்ள ஆர்வத்தை விளக்குவதற்கே யாகும். மற்ற விஞ்ஞானத் துறைகள் மனிதனின் வாழ்க்கையில் இன்பத்தையும் வசதியையும் கொடுத்து, நோய், மற்ற துன்பங்களைப் போக்கும்பொழுது வானநூல் என்ன வெகுமதி அளித்திருக்கிறது என்று கேட்கலாம். வானநூல் அறிஞர் இரவும் பகலும் அல்லல்பட்டு, நம் வாழ்க்கையுடன் யாதொரு தொடர்பையும் கொள்ளாத எங்கோ இருக்கும் வானப் பொருள்களின் இயக்க விதிகளையும் அமைப்பையும்பற்றி ஏன் ஆராயவேண்டும்?

ஒரு வகையில், கலிலியோ காலத்து வானநூலைப்போல், நம் காலத்து வானநூல் அறிவு, மனித வாழ்க்கைக்கும் பேரண்டத்திற்கும்

உள்ள தொடர்பையும், மனித வர்க்கத்தின் முதல், முடிவு, நோக்கம் இவைகளைப்பற்றிய ஏதாவது உண்மைகளையும் நமக்கு அளிக்கலாமென எதிர்பார்க்கப்படுகின்றது என்று சொல்லலாம். பீட் (Bede) என்பவர், மனித வாழ்க்கையை, புயல் காற்றும் மழையும் வெளியில் இருக்கும் பொழுது, ஒரு வெப்பமான கூடத்திற்குள் மனிதர்கள் விருந்துண்ணும் பொழுது அக் கூடத்தின் வழியாகப் பறந்துகொண்டிருக்கும் ஒரு பறவையின் இயக்கத்திற்கு ஒப்பிட்டு, பன்னிரண்டு நூற்றுண்டுக்கு முன் கவிதையில் எழுதியிருப்பதாகக் குறிப்பிட்டிருக்கிறுர்.

அந்தப் பறவை புயல் காற்றிலிருந்து சிறிது நேரமே தப்பித்துக் கொள்கிறது; ஆனுல், குளிரிலிருந்து உடனே குளிருக்குள் கடந்து சென்றுவிடுகிறது. இதேபோல் மனித வாழ்க்கையும் சிறிது காலம் இருக்கின்றது. இதற்கு முன்னும் பின்னும் என்ன நேர்ந்தது என்பதைப்பற்றி ஒன்றும் தெரியாது. ஒரு புதிய தத்துவம் இதைப் பற்றி ஏதாவது தகவல்களைக் கொடுக்குமேயாயின் இந்தத் தத்து வத்தைப் பின்பற்றுவது தக்கதேயாகும்.

கிறித்தவ மதத்தைப்பற்றிச் சொல்லப்பட்ட இந்த வாக்கு வான நூலின் முக்கிய நோக்கமாகும் என்று சொல்லலாம். மனிதன், வாழ்க் கையில் நடுநடுவே காணப்படும் சிறிய விளக்கொளியை வைத்துத் தன்னுடைய குறுகியகால வாழ்க்கையில் காணமுடியாத கடந்த காலத்தைப்பற்றியும், எதிர்காலத்தைப்பற்றியும், முடிந்தவரை ஆராய விரும்புகிறுன். மனிதன் தோன்றுவதற்குமுன் பேரண்டம் எப்படி இருந்தது என்றும், மனிதன் மறைந்த பிறகு இஃது எப்படி இருக்கும் என்பதையும் அறிய அவன் விரும்புகிறுன். இந்த விருப்பம் அறிவு ஆர்வத்தினுல்மட்டும் ஏற்படுவதன்று; அடுத்த மலைத் தொடர்ச்சி யைப் பார்ப்பதில் மட்டும் இல்லை; அடுத்த மலை உச்சியைக் காணுவதில் மட்டும் இல்லை; அவன் புகமுடியாத எதிர்பார்க்கும் ஒரு பிரதேசத்தைக் காணுவதில்மட்டும் இல்லை; இதைவிட ஆழ்ந்த நோக்கமும், சுயநல மும் இதற்கு உண்டு. மனிதன் தன்னைப்பற்றித் தெரிந்துகொள் வதற்குமுன் அவன் ஆக்கப்பட்ட பேரண்டத்தின் தூசியைப்பற்றித் தெரிந்துகொள்ளவேண்டும். மேலும், அவனுடைய உணர்ச்சியைப் பற்றிய நிகழ்ச்சிகளை அறியவேண்டும். பேரண்டத்தை இடம், காலம் ரீதியாக அறிய விரும்புகிறுன். இவன் பேரண்டத்தின் பகுதியாகவும், பேரண்டம் இவனைக் கொண்டிருப்பதனுலும் இவ்வாறு இவன் விரும்புகிறுன்.

மனித வாழ்வைப்பற்றியும், மனிதனின் எதிர்காலத்தைப்பற்றியும் இப்பொழுது இருக்கும் நிலையில் விஞ்ஞானம் ஒரு முடிவையும் கொடுக்கமுடியாது என்று சொன்னுலும் இதைக்கொண்டு நாம் சிறந்ததாக அறிந்துகொள்ள வேண்டியவற்றை அறிந்துகொள்ளலாம்.

விஞ்ஞானத்தைக்கொண்டு ஆராயக்கூடிய பிரச்சினைகளைப்பற்றி முடிவாகச் சரி, தவறு என்று சொல்லக்கூடியது மிக அரிது. இந்த மாதிரியான ஒரு குறிப்பிட்ட கேள்வியைக் கேட்டு அதற்குத் தகுந்த பதிலை நாம் அளிக்க முடியுமானல், இது, நாம் எடுத்துக்கொள்ளும் பிரச்சினைக்கு விடை கண்டுபிடிக்கக்கூடிய திறமை உள்ளவர்களாகிவிடுவோம் என்று அர்த்தமாகும். ஆனல், விஞ்ஞானம் உண்மைகளைப் படிப்படியாகக் காண்பிக்கின்றது. நாளடைவில் ஆராய்ச்சி தீவிரமாகும்பொழுது, உண்மைகளும் நன்ருகப் புலப்படும். பேரண்டத்தில் மனிதனின் நிலை என்ன என்பதற்கு முதலில் டாலமி முனைந்து கருத்தை வெளியிட்டார்—'நடுவில்' இதற்குப் பிறகு கலிலியோவின் தொலைநோக்கி இதைவிடத் தெளிவான கருத்தைக் கொடுத்தது—'பேரண்டத்தில் நம் இருப்பிடம் ஒரு பெரிய ஞாயிற்றைச் சுற்றிப் பல சிறிய பொருள்கள் சுற்றி வருவதில் ஒன்ருகும் என்பது'. பத்தொன்பதாம் நூற்ருண்டில் எழுந்த வானநூல் அறிவு இதைவிடச் சிறப்பானது—இதன்படி, நம் ஞாயிற்றைப்போல் பல விண்மீன்கள் உள்ளன என்றும், இவைகள் ஒவ்வொன்றையும் கோள் குடும்பங்கள் (family of planets) சுற்றி வருகின்றன என்றும், இக் கோள் குடும்பங்கள் ஒவ்வொன்றிலும் அதற்கான ஞாயிற்றின் ஒளி வெப்பம் காரணமாக, வாழ்க்கையுள்ளன என்றும் கருதப்படுகிறது. இருபதாம் நூற்ருண்டின் வானநூல் ஆராய்ச்சியின் படி, பத்தொன்பதாம் நூற்ருண்டுக் கருத்துகள் மிகைப்படுத்தப் பட்டிருக்கின்றன என்றும், நம் முன்னேர்கள் நினைத்த அளவு பேரண்டத்தில் வாழ்க்கை ஏற்பட்டுவிடவில்லை என்றும், இதற்கும் குறைவாகத்தான் உண்மை நிலை இருக்கவேண்டும் என்றும் கூறப் பட்டுள்ளது.

இருபதாம் நூற்ருண்டில் வானநூல் ஆராய்ச்சியின் உண்மை நிலையை விவரிப்போமாக. இஃது ஒரு முடிவாகாவிட்டாலும், நாம் (ஆராய்ச்சியில்) அதிக தவறு செய்திருக்காவிட்டால், கிட்டத்தட்ட உண்மை நிலையை, பத்தொன்பதாம் நூற்ருண்டைவிட, அதிக அளவில் விளக்குவதாகும். இதற்குக் காரணம் இருபதாம் நூற்ருண்டு வானநூல் அறிஞர், பத்தொன்பதாம் நூற்ருண்டு அறிஞரைக்காட்டிலும் தேர்ச்சி பெற்றவர் என்பதன்று. இவருக்குக் கிடைத்த ஆராய்ச்சி உண்மைகள் அளவில் முன்னைவிட அதிகமாகும் என்பதேயாகும். ஊகிப்பது விஞ்ஞானத்தின் தற்போதைய முறையாகாது. இஃது அறிவிற்குச் சரியான பகர அமைப்பாகாது (substitute). தற்கால விஞ்ஞானம், ஊகத்தைவிட்டு, முடிந்தவரை, கண்டறிந்த உண்மைகளையே (facts) வைத்து ஆராய்ச்சியில் முடிவு காண்கிறது.

வானநூலின் ஆராய்ச்சியே இதையொட்டித்தான் இருக்கின்றது என்று சொல்ல முடியாது. வானநூல், பயனுள்ளதும், விஞ்ஞானத்திற்

கேற்றதும், கலை நுட்பம் பொருந்தியதுமான மூன்று வகைத் துறைகளை நமக்கு அளிக்கின்றது.

மற்ற விஞ்ஞானத் துறைகளைப் போலவே, வானநூலும் பல நன்மைகளையொட்டியே ஆராயப்பட்டது. காலத்தை அளக்க ஒரு முறையை அளிப்பதுடன், இது, பருவங்களைக் குறிக்கவும் பயன்படு கின்றது. வழி தெரியாத பாலைவனத்தையும் கடலையும் கடக்க ஒரு முறையை அளித்தது. ஜோதிடத்தினால் எதிர்காலத்தைப்பற்றிக் கூறவும் பயன்பட்டது. இதில் முட்டாள்தனமானது ஒன்றுமில்லை—ஏனென்றால், வானப் பொருள்களின் எதிர்கால இயக்க முறையைப் பற்றியே (மனிதர்களின் எதிர்காலத்தைப்பற்றி இல்லாவிட்டாலும்) வானநூல் அறிஞர் ஆராய்ந்து கூறுகிறார். இந்தப் புத்தகத்தில் பெரும்பாலும், எதிர்காலத்தில் நிகழக்கூடிய பேரண்டத்தின் முடிவைப் பற்றியே ஆராயப்படும். ஜோதிடர்களின் தவறு என்னவென்றால், புவியில் உள்ள ராஜ்யங்களையும், அரசர்களையும், தனி மனிதர்களையும் மிகவும் முக்கியமானவை என்று கருதி இவைகளுடன் வானப் பொருள் களின் இயக்கங்களை ஒப்பிட்டதேயாகும். மனிதனின் நிலை மிகவும் துச்சமானது (வானப் பொருள்களுடன் ஒப்பிடும் வகையில்) என்று தெரிந்த உடனேயே ஜோதிடத்தில் நம்பிக்கை குறைந்தது. படித்தவர் களைப் பொறுத்தவரையிலாவது இஃது உண்மையாகும்.

ஆகையினால், வானநூலின் பலன் குறைந்த ஒரு நோக்கத்தை உடையதாகிவிட்டது. தேசிய ஆராய்ச்சிக்கூடங்கள் நாட்பொழுதின் நேரங்களை ஒலிபரப்புகின்றன. இது கப்பல்களுக்கு வழி அறியப் பயன்படுகின்றது. இருந்தாலும் வானநூல் ஆராய்ச்சியின் முக்கிய ஆர்வம் தொலைவில் உள்ள நெபுலாக்களை ஆராய்வதிலேயாகும். ஒரு சாதாரண வானநூல் அறிஞர், நமக்கு அருகில் உள்ள கோள்களில் கவனத்தைச் செலுத்தாமல், நூறு அல்லது ஆயிரம் அல்லது பல மிலியன் ஒளியாண்டுகளுக்குப் பிறகு ஒளியைக் காணும்படி மிகத் தொலைவில் உள்ள விண்மீன்களிலேயே கவனத்தைச் செலுத்துகிறார்.

தற்காலத்தில் வானநூல் விஞ்ஞானக் கலையில் ஒரு முக்கிய இடம் பெற்றிருக்கிறது. விஞ்ஞான முன்னேற்றம், ஓர் அங்குலத்தில் பல மிலியன்களில் ஒரு பங்கு விட்டத்தை உடைய எலக்ட்ரான்களிலிருந்து பல நூறு மிலியன் மிலியன் மைல்கள் விட்டத்தையுடைய நெபுலாக்கள் வரை பரவியிருக்கின்றது. வானநூலில் ஆராய்ச்சியின் முன்னேற்றம், பௌதிகம், வேதிநூல் இவைகளில் முன்னேற்றமளிக்கும். இதேபோல் பின்சொன்னவைகளில் முன்னேற்றம் முன் சொன்ன வானநூலில் முன்னேற்றமளிக்கும். விண்மீன்களை வெறும் ஒளிப்புள்ளிகளாகக் கருதும் காலம் கடந்துவிட்டது. ஒவ்வொன்றையும்பற்றி அறிவது

ஒரு பெரிய துணிகரமான முயற்சியாகும். இயற்கை இவைகளை நம்மால் சோதனைக்கூடங்களில் ஆராயமுடியாத அளவில் அதிக வெப்ப முடையதும் அமுக்கமுடையதுமான, ஒரு பெரிய உலோகங்களை உருக்கும் பாத்திரமாக அமைத்திருக்கின்றது. இந்த ஆராய்ச்சியினுல் புவியில் நாம் காணமுடியாத பொருள்களைப்பற்றிய சில உண்மைகளைத் தெரிந்துகொள்ளலாம். உதாரணமாக, நெபுலாக்களில், புவியில் இல்லாத பல மிலியன் மடங்குகள் குறைவான அடர்த்தியுடைய பொருள்கள் உள்ளன என்பது ஒன்ருகும். சில விண்மீன்களில் இது மிலியன் மடங்கு அதிகமாகும். அடர்த்தியில் பல மிலியன் மிலியன் மடங்குகளில் ஒரு பகுதி அடர்த்தியே நாம் காணமுடிவதால் இயற்கையில் உள்ள பொருளின் அடர்த்தியைப்பற்றி முழுவதாக நாம் அறிய முடிவதில்லை.

வானநூல் தத்துவத்திற்கும் பயன்படுவதாகும். வானவெளி, காலம் இவைகளைப்பற்றிய புது கருத்துகளைக் கொடுத்திருப்பதால் இந்த முக்கியத்துவம் வானநூலுக்குத் தற்காலத்தில் கிடைத்திருக்கிறது. காலமும் இடமும் ஒன்ருேடொன்று பிரிக்கமுடியாதவாறு இணைக்கப்பட்டவைகளாகும் என்ற கருத்தை அடிப்படையாக உள்ள தொடர்புக் கோட்பாட்டிற்கு மறுக்கமுடியாத ஆதரவை அளித்திருக்கிறது வானநூல் ஆராய்ச்சி. விஞ்ஞானிகளின் உலகில் என்ன மாறுதல் இருந்தாலும், வானநூல் அறிஞர்களால் 1919-ல் ஏற்பட்ட கிரகணத்திலிருந்து கிடைக்கப்பெற்ற உண்மைகளைக்கொண்டுதான் இடத்திற்கும் காலத்திற்கும் உள்ள தொடர்பை, பொதுவாக, தொடர்புக் கோட்பாட்டின்மூலம் தெளிவாக்க முடிந்தது. வானவெளி வளர்ந்து கொண்டே போகின்றது என்பது சமீபத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட சில ஆதாரங்களினுல் தெளிவுபடுகிறது. இது நம் நுண்பொருள் (metaphysical) உண்மைகளைப்பற்றிச் சிறந்த கருத்துகளை நமக்கு அளிக்கலாம்.

வானநூலின் விஞ்ஞான, தத்துவரீதிக் கருத்துகளைப்பற்றி ஒருவர் நினைத்தால், இதன் கலைச்சுவையைப்பற்றி நினைப்பவர்கள் குறைந்தது ஒரு டஜன் பேர்களாவது இருப்பார்கள். மனிதனுக்கும், மிருகங்களுக்கும் உள்ள அடிப்படை வித்தியாசத்தைக் காட்டும் அறிவு வளர்ச்சியில் ஈடுபட்டுள்ளவர்களில் அநேகம்பேர் வானநூலில் அக்கறை காட்டியுள்ளனர். இந்நூல், எல்லா விஞ்ஞானத் துறைகளைக்காட்டிலும், கலை, பண்பாட்டு வகையில் சிறந்த துறையைச் சேர்ந்ததாகும் என்று கருதுகின்றனர். போர்களினுலும், கலகங்களினுலும் நாளுக்குநாள் இப் புவியில் துன்பப்படுகிறவர்கள் மிகத்தொலைவில், ஓர் அமைதியான சூழ்நிலையைக்கொண்ட வெளிப்புறப் பேரண்டத்தைப்பற்றிச் (outer universe) சிந்திப்பதில் அமைதியும் நிம்மதியும் காண்கின்றனர்.

வானநூல், மனித வாழ்க்கைக்கே ஒரு சிறந்த வழிகாட்டியாக அமைந் திருக்கின்றது.

தற்காலத்தில் வானநூலில் கண்டறியப்பட்ட உண்மைகளைப் பற்றிச் சொல்வதற்குமுன், வானநூலறிஞர் எந்த மேடையிலிருந்து தங்களுடைய வான ஆராய்ச்சியை நடத்தினர் என்பதைப்பற்றிக் காண்போம்.

கிட்டத்தட்ட 3000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குமுன், ஞாயிற்றிலிருந்து புவி எப்படிப் பிறந்தது என்பதை 3, 4 ஆம் அதிகாரங்களில் காண் போம். அது பிறந்த விதம், இப்பொழுது திடமாகவும், கடல்களும், ஆறுகளும், தாவரங்களும் நிரம்பிய புவியை நாம் உண்மைதானு என்று ஐயுறும் வகையில் உள்ளது. வானத்தில் நம் இல்லமாக உள்ள இப் புவி முதலில் அதிக வெப்பமான ஒரு வாயு உருண்டையாக ஏற்பட்டது. இதில் யாதோர் உயிரினமும் வாழமுடியாமலிருந்தது.

படிப்படியாக இந்த உருண்டை குளிர்ந்து, முதலில் திரவமாகவும், பிறகு பிளாஸ்டிக்காகவும் (plastic) மாறியது. பிறகு இதன் மேற்புறப் பகுதிகள் கெட்டிப்பட்டு, இப்பொழுதுள்ள பாறைகளாகவும் மலைகளாக வும் மாறிவிட்டன. நீராவி குளிர்ந்து, ஆறுகளாகவும் கடல்களாகவும் மாறிவிட்டது. 'நிரந்தர வாயுக்கள்' (permanent gases) என்று சொல்லப்படும் ஆக்ஸிஜன், நைட்ரஜன், ஹீலியம், நியான் என்பவை ஒன்று சேர்ந்து வளிமண்டலமாக அமைந்துவிட்டன. கடைசியில், படிப்படியாக (நாம் அறியமுடியாத வகையில்) வாழ்க்கைக்கு ஏற்ற வகையில் புவி அமைந்துவிட்டது.

முதன்முதலாகப் புவியில் எப்பொழுது வாழ்க்கை ஏற்பட்டது என்று சொல்லமுடியாது. ஆனுல், இந்தக் கால அளவு புவி 3000 மிலியன் ஆண்டுகளில் ஒரு சிறிய பின்னமாகத்தான் இருக்கவேண்டும். அப்படி யிருந்தாலும், புவியில் குறைந்தபட்சம் 300 மிலியன் ஆண்டு களுக்குமுன், அதிகபட்சம் 1000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்கு முன்பே வாழ்க்கை ஏற்பட்டிருக்கலாம். முதலில் நீரினங்களாக ஏற்பட்டு (acquatic), மெதுவாக மீன்கள், ஊர்ந்து செல்லும் உயிரினங்களாக (reptiles) மாறி, இவை பாலூட்டிகளாக (mammals) மாறி, இவை களிலிருந்து மனிதன் தோன்றியிருக்கவேண்டும். இந்தக் கடைசி மாறுதல் சுமார் 300,000-லிருந்து 1,000,000 ஆண்டுகளுக்குள் ஏற்பட் டிருக்க வேண்டும். ஆகையினுல், புவியில் வாழ்க்கை மிகச் சிறிய கால மாகத்தான் இருந்திருக்கின்றது. இதிலும், மனித வாழ்க்கை மிகச் சிறிய காலமாகும். மற்ருெரு வகையில் சொல்லப்போனுல், வானநூல் கால அளவு (astronomical time-scale) மனித கால அளவைவிட (human time-scale) மிகப் பெரிதாகும். மனித வாழ்க்கையில் பல

பரம்பரைகளைச் சேர்த்தாலும் அது வானநூலறிஞரின் கடிகாரத்தில் ஒரு சில நொடிகளுக்குச் சமமாகாது. 10,000 அல்லது இதற்கு மேற்பட்ட பரம்பரைக்கு முற்பட்ட மனித வர்க்கம் (நம்மை நமக்கு முற்பட்ட குரங்கு வகையுடன் இணைக்கும் பரம்பரை வகை), வாழ்க்கையில் அதற்கும் முற்பட்ட விலங்கு வகையினதைப் போன்றே இருந்திருக்க வேண்டும். வேட்டையாடுதலும், மீன் பிடித்தலும், போர் செய்தலும் அவர்களுடைய வாழ்க்கையில் முக்கியத்துவம் பெற்றுச் சிந்தனைக்கே இடம் இல்லாத ஒரு வழியில் இருந்திருக்கவேண்டும். கடைசியில் மனிதன் விழிப்புற்று, நாகரிகம் அடைந்து, நாகரிகத்துடன் சிந்தனையில் புகுந்து, சாப்பிடுவதும், உடலுக்கு ஆடை பெறுவதுமான தொழிலில்மட்டும் கவனத்தை வைத்துவிடாமல், இதர தொழில்களிலும் ஈடுபாடு அடைந்தான். மனித உருவ அமைப்பிலும், எண்ணற்ற புன்னகை வீசும் கடலின்மீது ஒளி விளையாடும் பான்மையிலும் எல்லையில்லா அழகைக் கண்டு, இவைகளைப் பளிங்கில் செதுக்கியும் சொற்களில் அமைத்தும் அனுபவித்தான் மனிதன். அவன் உலோகங்களையும் மூலிகைகளையும் வைத்துச் சோதனை செய்தான். தீ, நீர் இவைகளை ஆராய்ந்தான்; வானத்தில் பல பொருள்கள் இயங்கி வருவதை அறிந்தான். இந்த இயக்கங்களை நன்கு அறிந்தவன், இரவுதோறும் விண்மீன்களும் கோள்களும் தோன்றி மறைவதை, புவிக்கு அப்பால் பெரியதோர் அளவில் உருவாக்கப்பட்டிருக்கும் பேரண்டத்திற்கு அறிகுறியாகக் கொண்டான்.

இப்படித்தான் புவியில் கலையும் விஞ்ஞானமும் தோன்றின. இவைகளுடன் வானநூலும் தோன்றியது. இஃது எப்பொழுது வந்தது என்று குறிப்பாகச் சொல்லமுடியாவிட்டாலும், மனித இனம் தோன்றிய கால அளவில் இவை நேற்று ஏற்பட்டதென்று சொல்லலாம். புவி தோன்றிய கால அளவில் இஃது ஒரு கண்கொட்டும் நொடிக்குச் சமமெனலாம்.

விண்மீனை அண்ணுந்து பார்ப்பதைவிட்டு விஞ்ஞான முறையில் வானநூல் வளர்ச்சி ஏற்பட்ட காலம் 3000 ஆண்டுகளுக்குமேல் இருக்காது. இந்தக் காலத்திற்குக் குறைந்த காலத்தில்தான் அரிஸ்டார்கஸ் (Aristarchus) என்பவர் நம்பாத (தன்னை) ஓர் உலகிற்குப் புவி ஞாயிற்றைச் சுற்றிவருகிறது என்று எடுத்துச் சொன்னார். இருந்தாலும், பேரண்டத்தைப்பற்றி மனிதர்கள் எப்பொழுது ஊகிக்க ஆரம்பித்தார்கள் என்பதைவிட, அதன் உண்மைகளைப்பற்றி ஆராய்ச்சியினால் அறிய ஆரம்பித்த காலமே முக்கியமானதாகும். இதில் முக்கியமான காலம், 1610-ஆம் ஆண்டில் ஒரு மாலை வேளையில், கலிலியோ தன் தொலைநோக்கியை வியாழனைக் குறித்து அமைத்த நேரத்திலிருந்து ஆரம்பமாயிற்று—சுமார் 3 நூற்றாண்டுகளுக்கு முன்புதான்.

இந்த எண்களைப் பின்வரும் அட்டவணையிலிருந்து கண்டறியலாம் :

புவியின் வயது	சுமார்	3,000,000,000	ஆண்டுகள்
புவியில் உயிர் வாழ்க்கைக் காலம்		300,000,000	ஆண்டுகளுக்கு மேலாக
மனிதனின் காலம்		300,000	,, ,,
வானநூல் காலம்	சுமாராக	3,000	ஆண்டுகள்
தொலை நோக்கி ஆராய்ச்சி	,,	300	,,

எண்களை இந்த மாதிரி வைத்துப் பார்க்கும்பொழுது வானநூல் எவ்வளவு சமீப காலத்தது என்பது தெரிகிறது. இதன் காலம் மனிதனின் காலத்தில் 100-ல் ஒரு பங்கிற்கும் குறைவாகும். அதாவது, புவியில் வாழ்க்கை ஏற்பட்ட காலத்தில் நூறுயிரத்தில் ஒரு பங்காகும். 100,000-த்தில் 99,999 பகுதிகள் புவியின் உயிர் வாழ்க்கை அதைவிட்டு வெளி உலகைப்பற்றி ஆராய்ச்சி நடத்தவில்லை.

வானநூலின் காலம் கடந்தகாலத்தில் மனித காலத்தின்படி (பரம்பரை ரீதியாக) அளக்கப்பட்டாலும் எதிர்காலத்தில் வானநூல் வகையில் அளக்கப்படும். நம் எதிர்காலம் வான நிகழ்ச்சியால்தான் முடிவடையும் என்று எதிர்பார்க்கலாம். உதாரணமாகப் புவி இதுவரை 3000 மிலியன் ஆண்டுகளிருந்ததனுல், இன்னும் 3000 மிலியன் ஆண்டுகளிருக்கலாம் என்று சொல்லலாம்—மனித வாழ்க்கை, வானநூல் வளர்ச்சி உள்பட. இந்தக் காலத்திற்கும் மேற்பட்டிருக்கலாம் என்பதற்கும் காரணம் கூறலாம். அப்படியானுல் வானநூல் இப்பொழுதுதான் ஆரம்ப கட்டத்திலிருக்கின்றது. ஆகையினுல்தான், ஒன்றும் நாம் முடிவாகக் கூறமுடியவில்லை. நாம் சொல்வது, புதிதாகப் பிறந்த ஒரு குழந்தை, முதன்முதலாகக் கண்ணைத் திறந்து பார்க்கும்பொழுது அதற்குத் தோன்றும் உணர்ச்சிபோலிருக்கும். இருந்தாலும், இஃது இதற்குமுன், ஒரு நோக்கமுமின்றி கனவு கண்டதுபோலாகாது.

இனி வானநூல், பேரண்டத்தைப்பற்றி என்ன கருத்துகளைக் கொடுக்கின்றது என்பதைப் பார்ப்போம். நம் ஆராய்ச்சி இந்த ஒரு துறையில் மட்டுமிருக்காது—பௌதிகம், இயைபு நூல், நில உட்கூற்றியல் (Geology), மற்றும் வான பௌதிகம் (Astrophysics), பேரண்ட நூல் (Cosmogony) இவைகளையும் தழுவியிருக்கும். இந்த எல்லா நூல்களையும் கொண்டு நாம் கண்டறியும் உண்மை மிகக் குறைவாக இருக்கும். இதை ஒரு வெட்டிப் பொருத்தும் புதிராட்டத்திற்கு (jig-saw puzzle) ஒப்பிடலாம். அதாவது, எல்லாத் துண்டுகளையும் ஒன்று சேர்த்துப் பார்த்தால் ஒரு கோவையான உருவம் கிடைக்கும். இருந்தாலும் இன்னமும் பல துண்டுகள் நமக்குக் கிடைக்காமல்

உள்ளன. நமக்குக் கிடைத்த (அரைகுறை) துண்டுகளைச் சேர்த்து முழு உண்மையையும் கண்டறிந்துவிட்டதாகச் சொல்லமுடியாது. இருந்தாலும், இவைகளை ஒன்று சேர்த்து, ஒரு முறையாக அமைத்து, நமக்குத் தெளிவாகத் தெரியும் அண்மைத் துண்டுகளை ஒன்ருக வைத்து, கடைசியில், இவ்வாறு எல்லாத் துண்டுகளையும் வைத்து கோக்கப்பட்ட படம் எப்படி இருக்கும் என்பதை ஊகிக்கலாம்---இதுவே நம் நோக்கமாகும்.

1. வானத்தை ஆராய்தல்

மனிதன் புவியில் வாழ்ந்த 300,000 ஆண்டுகளில், கடைசி 300 ஆண்டுகளில்—கடைசியில் உள்ள, மொத்தத்தில் ஆயிரத்தில் ஒரு பங்கு காலமாகும்—பேரண்டத்தைக் கண்டறிவதற்குத் தகுந்த பார்வைக் கருவியை அடைந்துவிட்டான் என்பதைப் பார்த்தோம். இம்மாதிரி யான பார்வையினுல் ஏற்பட்ட அவனுடைய முதல் கருத்தைக் காண் போம். இந்தக் கருத்தின் விளக்கத்தைக் கால வரிசைப்படிக் காண் போம். இது தொலைநோக்கியின் திறன்படி, அல்லது ஞாயிற்றிலிருந்து அதிகரிக்கும் தூரத்தின்படி இருக்கும். இஃது ஒரு தொடர்ச்சியான பதிவாக இல்லாவிட்டாலும், அண்டத்தின் சில முக்கிய அமைப்புகள் மட்டும் எப்படி மனிதனுல் படிப்படியாகக் காணப்பட்டன என்பதை விரிவாகக் காட்டும்.

ஞாயிற்றுக் குடும்பம்

கலிலியோ (Galileo), இன்னும் மற்றவர்களால் கண்டறியப்பட்ட ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் அமைப்பைப்பற்றி முதலாவதாகக் காண் போம்.

ஞாயிற்றின் குடும்பம் பல தொகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படலாம். ஞாயிற்றின் அருகில் புதன், வெள்ளி, புவி, செவ்வாய் இந்த நான்கு கோள்களும் இருக்கின்றன. இவைகளைவிடத் தொலைவில் பெரிய கோள்களான வியாழன், சனி, யூரேனஸ், நெப்டியூன் இவைகள் உள்ளன. இவைகளுக்கெல்லாம் அப்பால் உள்ளது சமீபத்தில் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட ப்ளூடோ என்னும் கோள். இது ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் வெளிப்புறத்தில் உள்ள கோள் ஆகும்.

புதன்தான் ஞாயிற்றுக்கு மிக அண்மையில் இருப்பது; இதற்கு அடுத்தது வெள்ளியாகும். இந்த இரண்டு கோள்களின் சுற்றுப்பாதை

களும், ஞாயிறு, புவி இவைகளின் சுற்றுப்பாதைகளுக்கு இடையில் தான் இருக்கின்றன. புவியிலிருந்து பார்க்கும்பொழுது இந்த இரண்டு கோள்களின் சுற்றுப்பாதைகளும் சிறிய வட்டங்களாக உள்ளன. ஆகையினால், வானத்தில் ஞாயிற்றின் அருகிலேயே இவைகள் காணப்படுகின்றன. ஆகையினால், இவைகளைக் காலையில் ஞாயிறு தோன்றுவதற்கு முன்னும் மாலையில் ஞாயிறு மறைந்த பிறகும் காண லாம். பண்டைக்காலத்தவர், ஒரே கோள் காலையிலும் மாலையிலும் மேற்சொன்னபடி காணப்படலாம் என்பதை அறியாததனால் இவை களைக் காலை விண்மீன், மாலை விண்மீன் என்று பெயரிட்டழைத்தனர். வெள்ளியைக் காலை விண்மீனாக இருக்கும்பொழுது, பாஸ்பரஸ் (Phosphoros) என்று கிரேக்கர்களும், லூஸிஃபர் (Lucifer) என்று ரோமானி யர்களும் அழைத்தனர். மாலை விண்மீனாக இருக்கும்பொழுது இதை ஹெஸ்பிரஸ் (Hesperus) என்று இருவரும் அழைத்தனர்.

இந்தக் கோள்களைக் கடந்து ஞாயிற்றைவிட்டு வெளிப்புறமாகச் செல்வோமானால் புவியும் செவ்வாயும் வருகின்றன. இத்துடன் சிறிய கோள்களின் தொகுதி முடிந்துவிடுகின்றது. செவ்வாய், வெள்ளி, புதன் இவை புவியைவிடச் சிறியவை. வெள்ளி ஒரு சிறிதளவே சிறியதாகும்.

சிறிய கோள்களில் கடைசியாகவுள்ள செவ்வாயின் சுற்றுப்பாதைக் கும், வியாழனின் சுற்றுப்பாதைக்கும் மத்தியில் இடைவெளி அதிகமாக இருக்கின்றது. இந்த இடைவெளி காலியாக இல்லை. இதில் ஆயிரக் கணக்கான சிறு கோள்களின் சுற்றுப்பாதைகள் இருக்கின்றன. இதில் எதுவும் புவியின் அளவு இல்லை. இவைகளுள் மிகப் பெரியதான சிரீஸ் (Ceres) என்பது 500 மைல்களுக்கும் குறைந்த விட்டத்தையுடையது. 100 மைல்களுக்கு மேற்பட்ட விட்டத்தையுடையன நான்குதான் நமக் குத் தெரிந்தவையாகும். புதன், வெள்ளி, செவ்வாய் இவை அநேக காலங்களுக்குமுன்பே தெரிந்தவையாகும். ஆனால், சிறு கோள்கள் பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டில்தான் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. அளவில் பெரிய சிறு கோளான சிரீஸ் என்பது 1801ஆம் வருடம் ஜனவரி முதல் தேதி பியாஸி (Piazzi) என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

சிறு கோள்களுக்கப்பால், புவியைவிடப் பெரிய கோள்களான வியாழன், சனி, யூரேனஸ், நெப்டியூன் ஆகிய கோள்கள் உள்ளன. வியாழனின் விட்டம் 90,000 மைல்களாகும். இது புவியின் விட்டத் தைப்போல் பதினொரு மடங்காகும். புவியைப்போன்ற அளவுள்ள 1,400 பொருள்களை வியாழனில் அடைத்துவைக்கலாம். அப்படியும் இடைவெளி வேண்டிய அளவிருக்கும். அடுத்து வரும் சனி, பரிமா ணத்தில் வியாழனுக்கு அடுத்தபடியுள்ளதாகும். இதன் விட்டம் 70,000

மைல்களாகும். இவை இரண்டும் கோள்கள் எல்லாவற்றிலும் மிகப் பெரியனவாகும்.

யூரேனஸும், நெப்டியூனும் புவியைப் போன்று நான்கு மடங்கு விட்டத்தையும் அறுபத்துநான்கு மடங்கு கனபரிமாணத்தையும் உடையனவாகும். ப்ளூடோவின் பரிமாணம் இன்னும் சரியாக நிர்ண யிக்கப்படவில்லை. சமீபத்தில் கண்டறியப்பட்ட குறிப்புகளினால் இஃது ஏறக்குறைய பொருளில் புவியின் அளவு இருக்கலாம் என்றும், பரிமாணத்தில் புவியைவிடச் சிறியதாக இருக்கலாம் என்றும் தெரிகிறது.

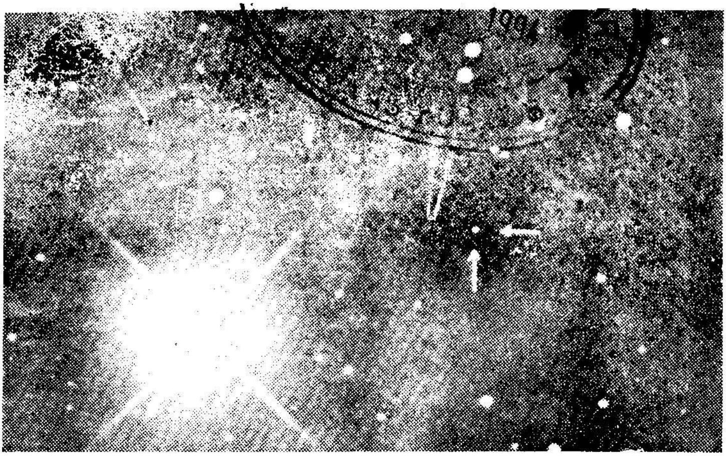
வியாழனும் சனியும் வானத்தில் தெளிவாக இருப்பதனால் இவற்றை வெகு காலத்திற்கு முன்பே கண்டிருக்கின்றனர். யூரேனஸும், நெப்டியூனும் சமீபத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டவை. சர் வில்லியம் ஹெர்ஷல் (Sir William Herschel) 1781-ல் யூரேனஸை ஏதேச்சை யாகக் கண்டார். அவர் ஒரு குறிக்கோளும் இல்லாமல், வானத்தில் ஏதாவது கவர்ச்சியாகக் காணப்படுகிறதா என்று தொலைநோக்கியின் மூலம் பார்த்துக்கொண்டிருக்கும்பொழுது இது தென்பட்டது. இதற்கு மாறாக, நெப்டியூனை 1846ஆம் ஆண்டு ஒரு சிக்கலான கணக் கீட்டினால் கண்டறிந்தனர். நியூடன் காலத்திற்குப் பிறகு மனித அறிவின் வெற்றியைக் குறிக்கும் சிறப்பான ஒரு நிகழ்ச்சியாக இதைக் கருதினர். இதை இளமையின் வெற்றி என்றே சொல்லவேண்டும். ஏனென்றால், இதைக் கண்டுபிடித்த பெருமை 27 வயதான ஆங்கிலேயர் ஜான் கௌச் ஆடம்ஸ் (John Couch Adams) என்பவரையும் ஃபிரான்ஸ் தேசத்தைச் சேர்ந்த வானநூல் அறிஞரான அர்பெயின் ஜெ. ஜெ. லெவரியர் (Urbain J. J. Leverrier) என்பவரை யும் சேரும். இவர்களில் ஜான் கௌச் ஆடம்ஸ் பிற்காலத்தில் கேம்பிரிட்ஜில் வானநூல் பேரறிஞராகப் பணியாற்றிவந்தார். இவர் லெவரியரைக் காட்டிலும் எட்டு வயது சிறியவராவார். இவ்விருவரும், யூரேனஸின் இயக்கத்தில் காணப்பட்ட சில கோளாறுகள், ஒரு தனிக் கோளின் ஈர்ப்புச் சக்தியினால்தான் இருக்கவேண்டும் என்று கருதி னார்கள். ஆகையினால், இந்தக் கோளின் சுற்றுப்பாதையைக் கண்டு பிடிக்க இருவரும் முனைந்தனர்.

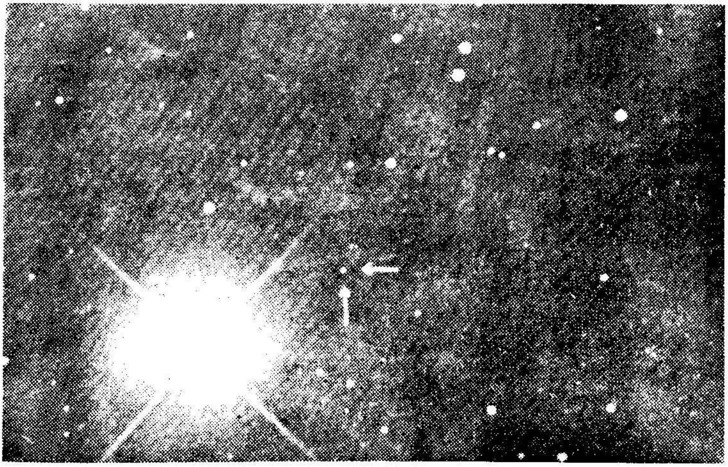
ஆடம்ஸ் இதை முதலில் கண்டுபிடித்துவிட்டார். வானத்தில் எந்தப் பகுதியில் இந்தக் கோள் இருக்கவேண்டும் என்பதைக் கேம்பிரிட்ஜ் வான்காட்சி ஆய்வாளர்களுக்குத் தெரியப்படுத்தினர். இதனால் நெப்டியூன் இருமுறை காணப்பட்டது. இதுதான் வேண்டிய கோள் என்பதுமட்டும் தெளிவாகவில்லை. கேம்பிரிட்ஜில் இதைத் தீர்மானம் செய்வதற்குள், லெவரியர் என்பவர் தனியாக இதன்

இருப்பைப்பற்றிக் கணக்கிட்டு, பெர்லினில் உள்ள காலி (Galle) என்ற ஆராய்ச்சி உதவியாளருக்குத் தெரியப்படுத்தினர். அவர் இந்தக் கோளை உடனே கண்டுபிடித்துவிட்டார். இதற்குக் காரணம், கேம்பிரிட்ஜைவிட பெர்லினில் விண்மீன் விளக்கப்படம் (star-chart) நன்ருக வரையப்பட்டிருந்ததேயாகும்.

நெப்டியூனின் ஈர்ப்புவிசைமட்டும் யூரேனஸின் இயக்கக் கோளாறுக்குக் காரணமாக இருக்கமுடியாது என்றும், நெப்டியூனின் இயக்கத்திலேயே சில கோளாறுகள் உள்ளன என்றும் நாளடைவில் காணப்பட்டது. இதனல் நெப்டியூனைவிட அதிக தூரத்தில் இன்னும் ஒரு கோள் இருக்கவேண்டும் என்பது தெளிவாயிற்று. ஆடம்ஸ், லெவரியர் இவர்களைப்போலவே அரிஸோனுவில் (Arizona) ஃப்ளாக்ஸ்டாஃப் (Flagstaff) என்ற வாருய்வுக் கூடத்தைச் சேர்ந்த டாக்டர் பர்ஸிவல் லோவல் (Dr. Percival Lowell) என்பவர் இந்தப் புதிய கோளின் சுற்றுப்பாதையைக் கணக்கிட்டு நிர்ணயித்தார். ஆனல், பல வருடங்கள் கூர்மையாக வானத்தைச் சோதனைசெய்த பிறகுதான், 1930ஆம் ஆண்டு மார்ச்சு மாதம் இந்தக் கோளைக் கண்டுபிடித்தனர். ப்ளூடோ என்று இதற்குப் பெயரிட்டனர் (ஒளிப்படம் I). இந்தப் புதிய கோள் பதினைந்து ஆண்டுகளுக்கு முன் லோவல் நிர்ணயித்த சுற்றுப் பாதையில்தான் இயங்குகிறது என்பதையும் கண்டனர். மேலும், லோவல் இந்தப் புதிய கோள் புவியைப்போல் ஆறு மடங்கு பொருண்மையுடையதாகும் என்று கணக்கிட்டுச் சொன்னர். ஆனல், உண்மையில் ப்ளூடோ என்ற இந்தக் கோளின் பொருண்மை புவியின் பொருண்மை அளவேயாகும். இந்தக் காரணத்தினுலும், இன்னும் சில காரணங்களினுலும், லோவல் சொன்ன சுற்றுப்பாதைக்கும், பிறகு நிர்ணயிக்கப்பட்ட ப்ளூடோவின் உண்மையான சுற்றுப்பாதைக்கும் உள்ள பொருத்தம் ஒரு தற்செயலான பொருத்தமே என்று சில வானநூல் அறிஞர்கள் கருதுகின்றனர்.

1610ஆம் ஆண்டு வியாழனின் நான்கு துணைக்கோள்களையும் கலிலியோ கண்டுபிடித்த பிறகு, மற்றக் கோள்களைச் சுற்றும் துணைக் கோள்களும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இதில், ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தில் ஞாயிற்றுக்கு அருகே இருக்கும் புதன், வெள்ளி இவைகளுக்கும், ஞாயிற்றிலிருந்து எல்லாவற்றையும்விடத் தொலைவில் இருக்கும் ப்ளூடோவிற்கும் துணைக்கோள்கள் கிடையாது. 1655ஆம் ஆண்டு ஹேகன்ஸ் (Huyghens) என்பவர் சனியின் துணைக்கோள்களில் மிகப் பெரியதான டிடன் (Titan) என்பதைக் கண்டுபிடித்தார். 1684-ல் காஸினி (Cassini) என்பவர் இன்னும் நான்கு துணைக்கோள்களைக் கண்டுபிடித்தார். இதற்குப் பிறகு ஒரு நூற்றுண்டு கழித்து சர் வில்லியம் ஹெர்ஷல் (Sir William Herschel) என்பவர் 1787-ல்



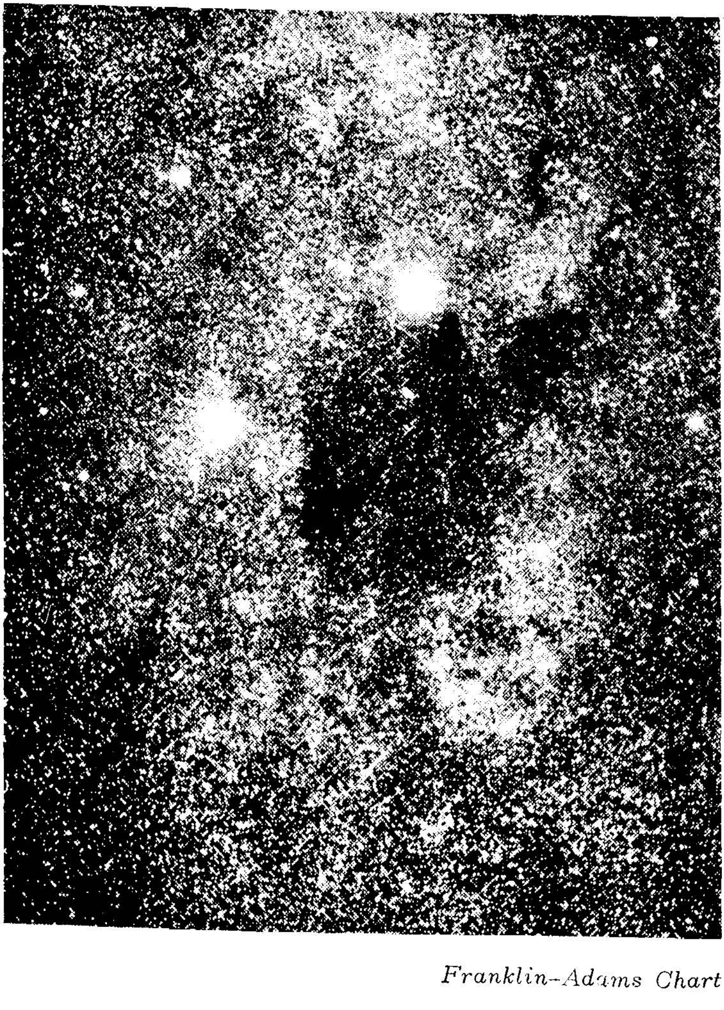


Lowell Observatory

புளூட்டோவின் கண்டுபிடிப்பு

மேலேயுள்ள இரண்டு புகைப்படங்களும் லோவல் வானுய்வுக்கூடத்தில் 1930ஆம் ஆண்டு மார்ச் மாதம் 2, 5 ஆகிய தேதிகளின் இரவு நேரங்களில் எடுக்கப் பெற்றன. அம்புக் குறிகளால் குறிப்பிடப்படும் பொருள் இவ்விரண்டு தினங்களில் வெகு தூரம் நகர்ந்திருப்பதைக் கண்ட பிறகு, அஃது ஒரு கோளுக்குரிய இயல்பு என்பது நிரூபிக்கப்பெற்றது. இடப்புறம் ஒளி பொருந்தியதாகக் காணப்பெறும் பொருள் δ ஜெமினேரம் என்ற விண்மீன் ஆகும்.

ஒளிப்படம் II



Franklin-Adams Chart

தென் சிலுவையின் அண்மையில் பால் வழி

யூரேனஸின் இரு துணைக்கோள்களையும், 1789-ல் சனியில் இன்னும் இரு துணைக்கோள்களையும் கண்டுபிடித்தார்.

ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தில் கோள்களின் துணைக்கோள்களைப்பற்றியும், மற்றும் இதர சிறு பொருள்களைப்பற்றியும்—வால்மீன்கள், எரிமீன்கள், வீழ்மீன்கள் இவை எப்படித் தோன்றின என்பதைப்பற்றி ஆராயும் அதிகாரத்தில், பிறகு கவனிப்போம்.

அண்டக் குடும்பம்

நம்முடைய அடுத்த ஆராய்ச்சிப் பொருள், தந்தையான சர் வில்லியம் ஹெர்ஷல் (1738—1822), மகனான சர் ஜான் ஹெர்ஷல் (1792—1871) இவர்களால் காணப்பட்ட விண்மீன்களாகும். கலிலியோ ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தைப்பற்றி எப்படி ஆராய்ந்தாரோ, அதேபோல் இவர்கள் பெரிய குடும்பமான விண்மீன் குடும்பத்தை—பால் மண்டலத்தினால் சூழப்பட்ட அண்டக் குடும்பத்தை—ஆராய்ந்தார்கள். இந்தக் குடும்பத்தில் நம் ஞாயிறும் ஓர் உறுப்பினராகும்.

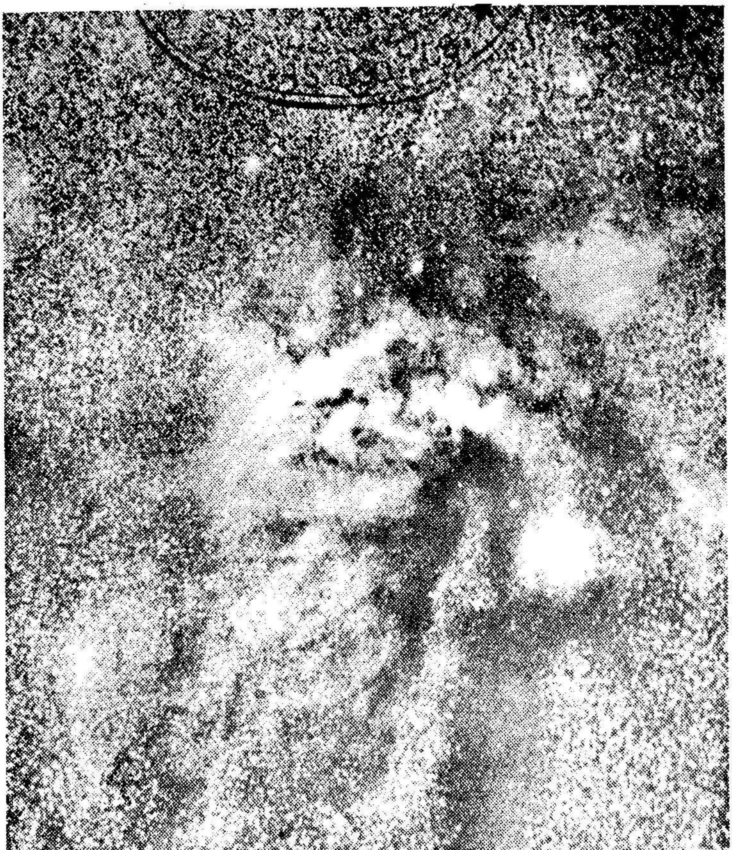
தெளிவாக இருக்கும், நிலா இல்லாத ஓர் இரவில், வானத்தில் பால் வழி ஓர் அடிவானத்திலிருந்து எதிர்ப்புற அடிவானம் வரை ஒரு மங்கலான வெளிச்சக் கவானாகக் காட்சியளிக்கிறது. ஆனால், பிரயாணிகள் நாம் காண்பதை ஒரு முழுவெளிச்ச வட்டத்தின் பகுதியே யென்று —அண்ட வட்டத்தின் பகுதியென்று—அறிவார்கள். இந்த வட்டம் புவியைச் சுற்றியுள்ளது. வானத்தை இரண்டு சமப் பகுதிகளாகப் பிரிக்கும். இஃது ஒரு வான ‘நடுக்கோடாக’ அமையும். இந்த நடுக்கோட்டிலிருந்துதான் வானநூல் அறிஞர்கள் வானத்தில் அட்சரேகை, தீர்க்கரேகை இவைகளை அளக்கிறார்கள். கலிலியோவின் தொலைநோக்கியால் காணப்பட்டதுபோல், இது முதலில், மங்கலான விண்மீன்களின் கூட்டமாகக் காணப்பட்டது. இந்த விண்மீன்கள் மிக மங்கலாக இருப்பதால், தனியாகத் தொலைநோக்கியில்லாமல் இவைகளைக் காண முடியாது. (ஒளிப்படங்கள் II, III, IV இவைகளைப் பார்க்கவும்.) இந்த மங்கலான விண்மீன்களின் பெரிய மண்டலத்தைச் சரியாகப் புரிந்துகொண்டால்தான் பேரண்டத்தின் அமைப்பைப்பற்றிச் சரியான விளக்கத்தைப் பெறலாம்.

எல்லையற்ற வானத்தில் விண்மீன்கள் ஒரே சீராகப் பரவியிருந்தால், வானத்தில் எந்தத் திசையைப் பார்த்தாலும் கண்கூசும் அளவில் ஒரே வெளிச்சத்தைப் பார்ப்போம். ஆனால், ஒளி சிறிது தூரம் கடந்த பிறகு மங்கலாக்கப்பட்டால் அல்லது அழிக்கப்பட்டால் இம்மாதிரியான நிலை ஏற்படாது. இப்படியிருப்பினும் வானத்தில் எந்தப் பகுதியைப்

பார்த்தாலும் ஒரேமாதிரியாகத்தான் இருக்கும். வேறு விதமாக இருப்பதற்குத் தகுந்த காரணங்கள் இல்லை. ஆகையினால், பால்வழி விண்மீன்கள் வானத்தில் ஒரே சீராக இல்லை என்பதைக் காட்டுகிறது. இந்த அமைப்பு ஒரு குறிப்பிட்ட சீரான முறையில்தான் இருக்கவேண்டும். இந்தச் சீரான முறையின் மர்மத்தைத்தான் கண்டுபிடிக்க முயன்றார் சர் வில்லியம் ஹெர்ஷல். இவர், வானத்தின் வடக்கு அரைப் பகுதியைப்பற்றிச் செய்த ஆராய்ச்சியை, சர் ஜான் ஹெர்ஷல் என்ற இவருடைய மகன் தெற்கு அரைப் பகுதிக்கும் விவரித்தார்.

வானத்தில் உள்ள விண்மீன்கள் அனைத்தையும் இயல்பாக ஒரே மாதிரியானவை என்று வைத்துக்கொண்டால் இரண்டு ஹெர்ஷல்களுடைய ஆய்வு முறையையும் புரிந்துகொள்ளலாம். ஆகையினால், எல்லா விண்மீன்களும் ஒரேமாதிரியான வெளிச்சத்தை உடையனவாகும். 'இதில் அருகில் இருக்கும் விண்மீன் அதிக வெளிச்சத்தோடும், தொலைவில் இருக்கும் விண்மீன் குறைந்த வெளிச்சத்தோடும் காணப்படும். இது தொலைவின் காரணத்தினாலாகும். வானவெளியில் ஒளிக் கவர்ச்சியில்லையென்றால் வெளிப்படை வெளிச்சம் தூரத்திற்கு ஏற்பக் குறையும் என்பது தெரிந்ததே. இது 'தொலைவின் இரண்டாம் அடுக்கின் (வர்க்கத்தின்) தலைமாற்ற பின்னம்' என்ற விதிப்படி மாறும். அதாவது, தொலைவின் இரண்டாம் அடுக்கு அதிகரிக்க, வெளிப்படை வெளிச்சம் இதே விரைவில் குறையும். ஒரு விண்மீன் மற்றொரு விண்மீனைப்போல் இரண்டு மடங்கு தூரத்தில் இருந்தால், இரண்டாம் விண்மீனின் வெளிச்சம் முதல் விண்மீனின் (வெளிப்படை) வெளிச்சத்தில் கால்பங்காகும். ஆகையினால், எல்லா விண்மீன்களும் ஒரே அளவு ஒளியை வெளிப்படுத்துவதானால், இந்த விண்மீன்களின் வெளிப்படை வெளிச்சங்களிலிருந்து இவைகளின் தொலைவைக் கணக்கிட்டுவிடலாம். இந்த விண்மீன்களின் ஒப்பு தூரங்களைக் கணக்கிட்டு, இந்த தூரங்களுக்குச் சமவிகிதமான அளவு கம்பிகளை வெட்டி இவைகளைக் குறிக்கும் விண்மீன்களின் திசைப்படி அமைத்தால் இது வானத்தில் உள்ள விண்மீன்களின் மாதிரி அமைப்பாக இருக்கும். இதற்கு அளவைத்தவிர, விண்மீன் குடும்பத்தின் மொத்த அமைப்பைப் பற்றியும் தெரியவேண்டும். பால் வழியில் உள்ள மங்கலான விண்மீன்களைக் காட்ட அதிக நீளமுள்ள கம்பிகள் வேண்டும். நம்முடைய மாதிரி அமைப்பில் இவை பால் மண்டலத்தின் பல பாகங்களைக் குறித்து நிற்கும். இதனால் தட்டையான வட்ட அமைப்பு ஒன்று கிடைக்கும்.

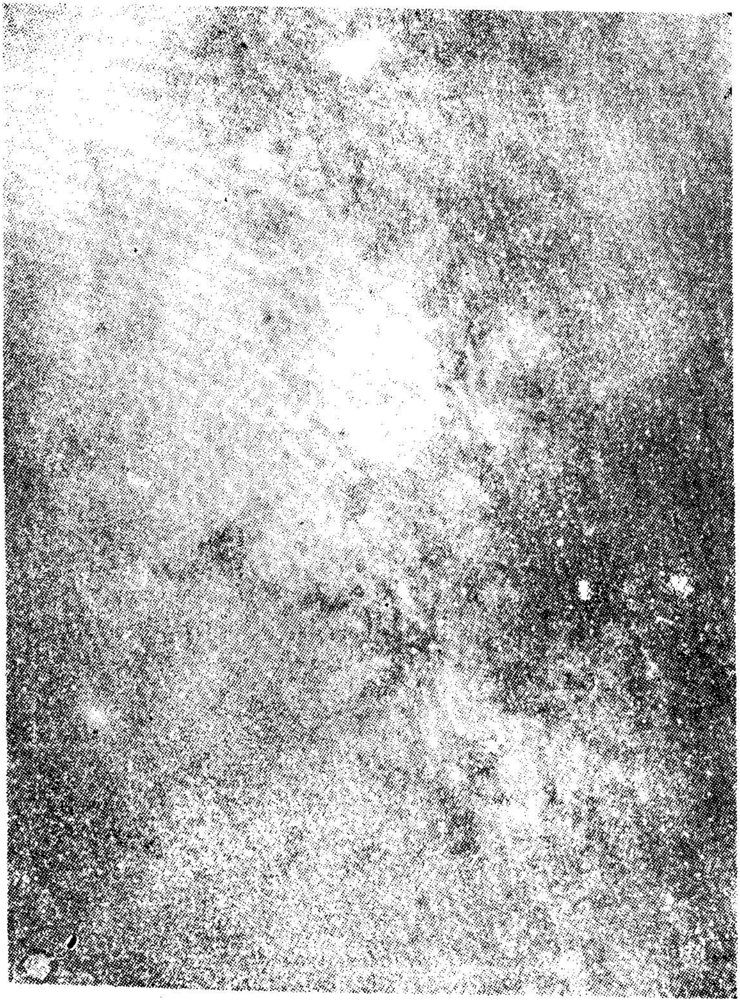
சர் வில்லியம் ஹெர்ஷல் எடுத்துக்கொண்ட பிரச்சினை இதைவிடச் சிக்கலானதாகும். ஏனென்றால், விண்மீன்கள் எல்லாம் பலவித இயல்பு வெளிச்சத்தை உடையதாயும், பல்வேறு தொலைவுகளிலும் இருக்கின்றன. ஆகையினால், வெளிப்படை வெளிச்சத்திலும் வித்தியாசம்



E. E. Barnard

ρ ஒபியூச்சி (ρ **Opuhiuchi**) பகுதியில் பால் வழி

ஒளிப்படம் IV



E. E. Barnard

சாகிடேரியஸில் விண்மீன்—முகில்

காணப்பட்டது. இதனுல், முதல் இடையூறு யாதெனில், மேற்சொன்ன இரண்டு மூலகாரணங்களையும் தனித்தனியாகப் பிரிக்கவேண்டும். அப்பொழுதுதான் திடமான ஒரு முடிவைக் காணலாம்.

வானத்தில் பல திசைகளில் விண்மீன்களின் எண்ணிக்கை வெகுவாக மாறுபட்டவையாக இருக்கின்றன என்று ஹெர்ஷல் தன் தொலை நோக்கியினுல் கண்டறிந்தார். பால் வழியை நோக்கித் தொலை நோக்கியை அமைத்தால் விண்மீன்கள் அதிகமாகவும், பால் மண்டலத்திலிருந்து (பால் வழி) தள்ளிச் சென்ருல் இந்த விண்மீன்களின் எண்ணிக்கை குறைவாயும் இருந்தன. பொதுவாக, பால் மண்டலத்திலிருந்து கோண அளவில், ஒரே தொலைவில் இருக்கும் இரண்டு தொலை நோக்கி வெளியில், ஒரே எண்ணிக்கையான விண்மீன்கள் தான் இருந்தன. வானநூல் கலைச்சொல்லில் சொல்லவேண்டுமானுல் விண்மீன்களின் எண்ணிக்கை முதன்மையாக, அண்டத்திலிருந்து அவைகளின் அட்சரேகையைப் பொறுத்திருக்கிறது—அதாவது, புவியின் காலநிலை அதன் புவி அட்சரேகையைப் பொறுத்திருப்பது போலாகும். இந்த எண்ணிக்கை தீர்க்கரேகையைப் பொறுத்திருக்காது.

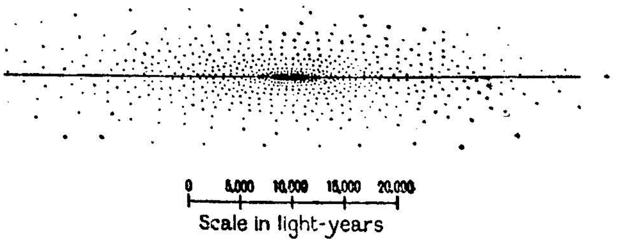
வெவ்வேறு அண்ட அட்சரேகையில் உள்ள வெளிகள்—அதாவது, பால் மண்டலத்திலிருந்து கோண அளவில் பல தொலைவுகளில் இருக்கும் வெளிகள்—விண்மீன்களின் எண்ணிக்கை, தன்மை இவைகளைப் பொறுத்தவரை மாறுபாடுடையனவாக இருந்தன. இவைகளில் அதிக வெளிச்சமுடைய விண்மீன்களின் எண்ணிக்கை ஏறக்குறைய ஒரே மாதிரியாகத்தான் இருந்தன. ஆனுல், மங்கலான விண்மீன்களின் எண்ணிக்கை மாறுபட்டிருந்தன. இந்த விண்மீன்கள், குறிப்பாக மிகவும் மங்கலான விண்மீன்கள் பால் மண்டலத்தின் அருகே செல்லச் செல்ல அதிக அளவில் காணப்பட்டன.

இதனுல், ஞாயிற்றைச் சுற்றியுள்ள விண்மீன்கள் தொலைநோக்கியினுல் பார்க்கக்கூடிய தூரத்தில் குறைந்த அளவிலும், பால் மண்டலத்திலிருந்து தள்ளி அமைந்திருக்கும் திசைகளில் வெகு விரைவில் குறைந்து காணப்படுகின்றன என்றும் சர் வில்லியம் ஹெர்ஷல் சரியான விளக்கத்தைக் கொடுத்தார். ஆகையினுல், அண்டக் குடும்பத்தின் பொது அமைப்பு ஒரு சக்கரத்தைப் போன்ருே, அல்லது ஒரு ‘பிஸ்கட்டை’ப் போன்ருே, அல்லது ஒரு கைக்கடிகாரத்தைப் போன்ருே இருக்கவேண்டும் என்று அவர் கருதினுர். அதாவது, நடுவில் அதிகமாயும் போகப்போகக் குறைந்த அளவிலும் இவை பரவி இருக்க வேண்டும் என்று கருதினுர். பால் மண்டலத்தின் தள மட்டம்தான் இந்த அமைப்பின் நடு அமைப்பு மட்டதளமாகும். இந்தப் பால் மண்டலம் வானத்தைச் சரியானபடி இரண்டு சம பாகங்களாகப்

பிரிப்பதால் ஞாயிறு, கிட்டத்தட்ட இந்த நடுத்தளத்தில்தான் அமைந்திருக்கவேண்டும் என்று ஹெர்ஷல் நினைத்தார். இது தற்கால ஆராய்ச்சியால் ஊர்ஜிதப்படுத்தப்பட்டது. பால் மண்டலத்திலிருந்து சமதூரத்தில் உள்ள விண்மீன்கள் ஒரே அளவு வெளிச்சத்தையுடையனவாயிருப்பதால், ஞாயிறு மேற்சொன்ன நடு மட்டதளத்தின் மையத்திலேயே ஏறக்குறைய அமைந்திருக்கலாம் என்றும் கருதினர். இந்தக் கருத்து பொருத்தமானதாகத்தான் தோன்றுகிறது (பக்கங்கள் 60, 65).

ஹெர்ஷல் விவரித்தபடி உள்ள ஞாயிற்றை மத்தியில் கொண்ட அண்ட அமைப்பின் குறுக்குமுகத்தைப் (cross-section) படம் 1-ல் காணலாம். இந்த அமைப்பு வானத்தின் பொதுத் தோற்றத்தை விளக்கும். பொதுவாகச் சொன்னால் மிக வெளிச்சமாக உள்ள விண்மீன்களெல்லாம் மிக அருகிலிருக்கின்றன. இதனால், இவைகளைக் கடந்துதான் விண்மீன்களின் எண்ணிக்கை குறைந்ததாக இருக்கும். ஆகையினால்தான், வானத்தில் எந்தத் திசையைப் பார்த்தாலும், அதிக வெளிச்சமுள்ள விண்மீன்கள் ஒரே அளவில் இருக்கின்றன. மிக மங்கலாகத் தோன்றும் விண்மீன்கள் வெகு தொலைவில் இருக்கின்றன. இதனால், அண்ட மட்டதளத்திற்கு அருகில் உள்ள திசைகளில் அண்ட அமைப்பின் ஆழத்தைப்பற்றி அறியலாம். இந்தத் திசைகளில்தான், வேறு எந்தத் திசையிலுமில்லாமல், மங்கலான விண்மீன்களை அதிக அளவில் காணலாம். மங்கலான விண்மீன்கள் அடுக்கடுக்காக, முடிவில்லாமல், ஒன்றன்பின் ஒன்றாக அமைந்திருப்பதால், இந்த மங்கல் விண்மீன்களின் திரட்டைப் பால் மண்டலமாகக் காண்கிறோம்.

படம் 1-ல் காட்டப்பட்டிருக்கும் விரிவான அமைப்பு காப்டீன் (Kapteyn) என்பவரால் பிற்காலத்தில் கொடுக்கப்பட்டது (1922). இந்தப் படத்தில் கீழே கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் அளவு வீதத்தில்,



படம் 1.

அண்டத்தின் அமைப்பு: ஹெர்ஷல், காப்டீன் இவர்களின் கருத்துப்படி

வானநூலில் எப்பொழுதும் உள்ளபடி, ஓர் ஒளியாண்டு என்பது, ஓர் ஆண்டில் ஒளி செல்லக்கூடிய தூரத்தைக் குறிக்கும். ஒளியின்

வேகம், விநாடிக்கு 186,000 மைல்களானதால், ஓர் ஒளியாண்டு ஆறு மிலியன் மிலியன் மைல்களாகும்.

காப்டென் இந்த விவரங்களைக் கண்டறிந்த முறை மிகவும் நுட்ப மானது. ஆனால், இதன் பொதுப்படை முறையை எளிதில் புரிந்து கொள்ளலாம். 3 அங்குலங்கள் துளையுள்ள ஒரு தொலைநோக்கியின் மூலம் அதாவது 3 அங்குலம் விட்டமுள்ள ஒரு விட்டத்தின்மேல் விழும் ஒளி முழுவதையும் திரட்டக்கூடிய ஒரு தொலைநோக்கியின்மூலம்—வானத்தில் ஒரு சிறிய எல்லையில் சில விண்மீன்களை நான் பார்க்கமுடியும் என்று வைத்துக்கொள்வோம்—100 விண்மீன்கள் என்று வைப்போம். அப்பொழுது ஆறு அங்குலங்கள் துளையுடைய ஒரு தொலை நோக்கியின்மூலம் முன்பைவிட நான்கு மடங்கு ஒளியைக் காணலாம். ஆகையினால், முன் தொலைநோக்கியின்மூலம் காணக்கூடிய விண்மீன் களைப்போல் இரண்டுமடங்களவு தூரத்தில் உள்ள விண்மீன்களை இந்தத் தொலைநோக்கியின்மூலம் காணலாம். அதாவது, வான வெளியை, முன் தொலைநோக்கியின்மூலம் காணக்கூடியதைப்போல் இரண்டுமடங்கு தூரத்திற்குக் காணலாம். ஆகையினால், வான வெளியை முன்பைவிட 8 மடங்கு அளவிற்குப் பார்க்கலாம். அதனால் முன்பைவிட எண்ணிக்கையில் 8 மடங்கு விண்மீன்களைக் காணலாம். இவ்வளவு விண்மீன்களைக் காணமுடியாவிட்டால், அந்தப் பகுதியில் அதிக திரளாக அவைகள் அங்கு இல்லை என்று சொல்லலாம். இஃது எண்ணிக்கையில் எவ்வளவு குறைவாக இருக்கின்றதென்று நிர்ணயித்து அதிலிருந்து அவைகள் எவ்வாறு குறைந்திருக்கின்றன என்பதைப் பற்றி அறியலாம்.

விண்மீன்களை நேரிடையாக எண்ணிப் பார்த்ததில் ஞாயிற்றை விட்டு அப்பால் சென்றால், எந்தத் திசையில் பார்த்தாலும் இந்த விண் மீன்களின் எண்ணிக்கை குறைவாகவே இருக்கின்றது என்று ஹெர்ஷ லும் காப்டனும் நம்பினர்கள். ஆகையினால், ஞாயிறு உள்ள இடத்தில் விண்மீன்களின் முழுமைத் தொகுதியும் அடர்த்தியாக (உச்சநிலையில்) இருக்கும். இதனால்தான் காப்டனும் ஹெர்ஷலைப்போல், ஞாயிற்றை, படம் 1-ல் காட்டப்பட்டிருக்கும் பரவலின் மையமாக அமைத்தார். நேரிடையாக எண்ணிப் பார்க்கப்பட்ட விண்மீனின் எண்ணிக்கைக்கும், மேலே சொன்ன எளிய விதியின்படி நிர்ணயிக்கப்பட்ட எண்ணிக்கைக் கும் உள்ள வித்தியாசத்தைக் கொண்டுதான் 1ஆம் படத்தை அவ்வளவு விவரமாக வரைய முடிந்தது.

அண்ட அமைப்பைப்பற்றி இந்த மாதிரியான கருத்துதான் இது வரை இருந்தது. ஆனால், தற்கால ஆராய்ச்சியினால் (பக்கம் 63 ff.) இது சற்றுத் திருத்தப்பட்டது. இந்தத் திருத்தம் இரண்டுவகையில்

செய்யப்படவேண்டும்—இந்த அமைப்பின் பரிமாணம், படம் 1-ல் குறிக்கப்பட்ட அளவைவிடக் கருதக்கூடிய அளவு பெரியது. மேலும், ஞாயிறு இந்த அமைப்பின் மத்தியிலோ, அல்லது இதற்கு அருகிலோ இல்லை. இந்த இரண்டு திருத்தங்களைத் தவிர, மற்றபடி ஹெர்ஷல், காப்டென் இவர்களின் முறை, உண்மை நிலையை முதல் தோராய அளவிற்கு உணர்த்துகிறது.

முடிவாக ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் அமைப்பைப்பற்றிக் கோபர்னிகஸ் (Copernicus) என்பவரின் கருத்தை ஏற்றுக்கொள்வதற்கு முக்கிய காரணம், கலிலியோ என்பவர் இதே மாதிரியான அமைப்பாகிய வியாழனின் அமைப்பை முழுமையாகக் கண்டறிந்ததாகும். இந்த அமைப்பு, புவியில் உள்ள ஒருவன் காணுவதற்கு ஏற்றபடி வானவெளியில் அமைந்திருந்தது. ஆனால், இந்தமாதிரியான காட்சியை ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தில் காணமுடியாது. ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தை, புவியில் உள்ள ஒருவன், உட்புறக் காட்சியாகத்தான் காணமுடியும். ஆகையினால், ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் அமைப்புபற்றிய மொத்தக் காட்சியாகிய வெளிப்புறக் காட்சியை, வானவெளியில், இம்மாதிரியான மற்ற அமைப்புகளைக் கண்டுதான் பார்வை முறையில் ஊர்ஜிதப்படுத்த முடியும்.

இதே மாதிரியாக, பார்வை முறையால் கண்டு ஊர்ஜிதப்படுத்தியதாக சர் வில்லியம் ஹெர்ஷல் என்பவரும் நம்பினார். இவர், ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தைப் போன்ற அமைப்புகளையேதான் கண்டதாக எண்ணினார். ஏனென்றால், இவை அண்டத்திற்கு முற்றிலும் அப்பால் இருந்ததனாலாகும். இந்த அமைப்புகளை விண்மீன்களாலாகிய முகிற்கூட்டங்களென்று கருதியதோடு, இவைகளைத் 'தீவுப் பேரண்டங்கள்' என்றும் அழைத்தார். இந்தக் கூட்டங்களில் தனிப்பட்ட விண்மீன்களைத் தம்மால் பார்க்க முடியாவிட்டாலும், போதிய அளவு திறன் வாய்ந்த ஒரு தொலைநோக்கி செய்யப்பட்டால், அதன்மூலம் இவைகளைக் காணலாம் என்று கருதினார். கலிலியோ, பால் மண்டலத்தில் உள்ள விண்மீன்களைப் பார்த்ததுபோல் இது முற்றிலும் உண்மை. இந்த விண்மீன்களை இப்பொழுது நாம் காணலாம் (ஒளிப்படம் V).

அநேக வகைப்பட்ட வானப் பொருள்களில், நெபுலாக்கள் ஒருவித பொருளாகும். இவைகளின் அமைப்பு, முகிலைப்போன்று ஆவி உருவத்திலிருப்பதால் இவைகளுக்கு இப் பெயரிடப்பட்டது (நெபுலா = ஒரு முகில்). பொதுவாக இவைகள் 'தனிச் சிறப்பு அண்டம்' என்று அழைக்கப்படும். ஏனென்றால், இவை அண்டத்திற்கு அப்பால் இருப்பதனலாகும். நாம் இவைகளைப் 'பெரிய நெபுலாக்கள்' என்று அழைப்போம். இது பொருத்தமேயாகும். இவைகளைத் தனித்தனியாக

விவரித்து அறியுமுன், நெபுலாக்கள் என்ற தலைப்பின்கீழ் குறிக்கப்படும் வானப் பொருள்கள் எல்லாவற்றைப்பற்றியும் ஒரு விரிவான முன் குறிப்பை இங்குக் கொடுப்போம்.

நெபுலாக்கள்

ஒரு கோளை, ஒரு தொலைநோக்கி ஒரு பெரிய வட்டத் தகடாகக் காட்டும். 60 மடங்கு பெரிதுபடுத்தும் ஒரு தொலைநோக்கியின் கண் பக்க வில்லை, வியாழனைச் சந்திரன் அளவு பெரிதாகக் காட்டும். இருந் தாலும், 60 மடங்கோ அல்லது இதற்கு மேற்பட்ட அளவிலோ பெரிது படுத்தும் ஒரு கண்பக்க வில்லை ஒரு விண்மீனை வியாழன் அளவு பெரிதாகக் காட்டவே முடியாது. நாம் இப்பொழுது குறிப்பிடப் போகும் விலக்கான வகையைத் தவிர, எந்த வகையில் மிகைப்படுத்தி ஞலும் (நம்மால் முடிந்தவரை) ஒரு விண்மீனை ஒர் ஒளிப்புள்ளிக்கு மேல் பெரிதாகக் காண முடியாது. விண்மீன்களில் பெரும்பாலானவை வியாழனைவிட மிகப் பெரியவையாகும். ஆனுல், அவை வியாழனைவிட மிகத் தொலைவில் இருப்பதால், இந்தத் தொலைவின் காரணமாக மிகச் சிறிய உருவங்களாகவே காணப்படுகின்றன. ஆகையினுல், தொலைவே வெற்றி பெற்றுவிட்டது என்று சொல்லலாம்.

இருந்தாலும், வெளிச்சப் புள்ளிகளாகக் காணப்படும் விண்மீன் களைத் தவிர, இன்னும் பெரிதாகக் காணக்கூடிய பல வானப் பொருள் களைத் தொலைநோக்கி நமக்குக் காண்பிக்கின்றது. கோள்களையும் சந்திரனையும் தவிர, இவைகளுள் மற்றதெல்லாம் மங்கியதாகவும் குழம்பியதாகவும் காணப்படுகின்றன. இதனுல் பொதுப்படையாக ‘நெபுலாக்கள்’ என்று இவைகளுக்குப் பெயரிடப்பட்டிருக்கின்றது. ஒரு கூர்ந்த ஆராய்ச்சியின்மூலம் இவைகளை மூன்று தனிப்பட்ட வகை களாகப் பிரிக்கலாம் என்று காண்போம்.

கோள் நெபுலாக்கள்

மேற்கூறிய வகுப்புகளில் முதல் வகுப்பு ‘கோள் நெபுலாக்கள்’ என்று சொல்லப்படும். இவைகளில் கோள்களின் தன்மை யாதெனில், தொலைநோக்கியின்மூலம் பார்க்கப்படும்பொழுது கோள்களைப்போல் (விண்மீன்களைப்போல் வெளிச்சப் புள்ளிகளாக அல்லாமல்) தனிப்பட்ட பரிமாணங்களில் வட்டத் தகடுகளாகக் காணப்படுவதேயாகும். மற்ற படி கோள்களின் தன்மை ஒன்றும் இவைகளுக்குக் கிடையாது. இந்த மாதிரியான பொருள்கள் சில நூற்றளவில்தான் நமக்குத் தெரியும். குறிப்பான நான்கு மாதிரிகள், ஒளிப்படம் VI-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. இவை, நாம் இப்பொழுது ஆராயப்போகும் பொருள்களைவிட ஒப்பிடும் அளவில் மங்கலாகவும் அண்மையாகவும் உள்ளன. வான் மானன்

(Van Maanen) என்பவரால் கணக்கிடப்பட்ட 21 பொருள்களின் சராசரி தூரம் 4,500 ஒளி வருடங்களாகும். இதனால் இவை அண்ட அமைப்பினுள் இருக்கின்றன என்று சொல்லலாம். சராசரியில், இவை, ஞாயிற்றைப் போன்று 10 மடங்கு ஒளியை வெளியிடுகின்றன என்று சொல்லலாம்.

அவைகளின் பௌதிக அமைப்பைப் பின்னர் (அதிகாரம் 4) ஆராய்வோம். அதிக வெப்பத்தின் காரணமாக இவை, வெளிச்சம் பொருந்திய ஒரு பெரிய ஒளி மண்டலத்தினால் சூழப்பட்ட வெப்ப விண்மீன்கள் என்று சொன்னால், இப்பொழுது போதியதாகும். ஆகையினால் இவை, எந்த ஒரு விண்மீனும் தொலைநோக்கியின்மூலம் காணப்படும்பொழுது ஒரு வெளிச்சப் புள்ளிக்குமேல் காணப்படுவதில்லை என்ற பொது விதிக்கு விலக்கானவையாகும்.

அண்ட நெபுலாக்கள்

இரண்டாவது வகுப்பைச் சேர்ந்தவை 'அண்ட நெபுலாக்கள்' என்று பொதுவாகக் கூறப்படும். இவைகளை, உதாரணமாக, ஒளிப்படம் VII, VIII, IX இவைகளில் காணலாம் (28ஆம் பக்கம் பார்க்க). இவை முற்றிலும் ஒழுங்கற்ற வடிவமுடையனவாகும். இவற்றின் பொதுப் பார்வை அமைப்பு, ஒரு பெரிய ஒளி பொருந்திய வாயுக்கட்டு ஒரு விண்மீனிலிருந்து மற்றொரு விண்மீன்வரை பரவியதுபோல் காணப்படும். இஃது, இவைகளின் உண்மை அமைப்பாகும். ஒரு மேற்போக்கான (முனைப்பாக அல்லாமல்) நோக்கால்கூட, ஒவ்வோர் ஒழுங்கற்ற நெபுலாவும் பல விண்மீன்களைக் கொண்டதாகும் என்று அறியலாம். தொலைநோக்கியின்மூலம் கூர்ந்து ஆராயும்பொழுது இவை எல்லையற்ற அளவுடையனவாகக் காணப்படுகின்றன. ஆகையினால், ஒரு விண்மீன் மண்டலம் முழுவதும் ஒரே நெபுலாவில் அடங்கியதாக இருக்கலாம்.

இந்த நெபுலாக்களின் பௌதிக அமைப்பைப்பற்றி யாதோர் ஐயமும் இல்லை. (இந்த நெபுலாக்களின்) விண்மீன்களின் இடைவெளிகள் பொருளற்ற சூன்யமல்ல என்றும், இவை மெல்லிய வாயுவினாலான முகிலால் நிரப்பப்பட்டதாகும் என்பதையும் மிகுந்த ஆதாரத்தினால் தெளிந்தறியலாம். இங்குமங்குமாக இந்த முகில் சாதாரண நிலையை விட அதிக அடர்த்தியாகவும், இங்குமங்கும் இது விண்மீன்களின் கதிர் வீச்சின் காரணமாக ஒளிப்படுத்தப்பட்டு அமையலாம். இதனால், இவை விண்மீன்களின் ஒளியைத் திருப்புவதாயும் அல்லது எரி ஒளிர்வு பெற்றுச் சுய வெளிச்சமுள்ளவைகளாகவும் காணப்படலாம். இதுதான் இந்த நெபுலாக்களின் ஒளிக்கு உண்மையான காரணமாகும் என்பது நமக்குத் தெரிந்ததேயாகும். ஏனென்றால், இவைகளின் ஒளி, நெபுலாக்களின் விண்மீன்களின் ஒளிகளினுடைய தன்மையையே காண்பிக்

Mt Wilson Observatory

ஆன்ட்ரோமீடாவில் உள்ள பெரும் நெபுலா M 31-ன் வெளிப்பகுதிகள்

(10 ஆவது ஒளிப்படத்தில் முழுவதுமாகக் காட்டப்பெற்ற ஆன்ட்ரோமீடாவிலுள்ள பெரும் நெபுலா, M 31-ன் இடது மேற்புறத்தைப் பெரிதுப்படுத்திக் காட்டிய படமாகும்.)

N.G.C. 2022

N.G.C. 6720
(நெபுலாவின் வளையம்)

N.G.C. 1501

N.G.C. 7662
Mt Wilson Observatory

கோள் நெபுலாக்கள்

கின்றன. உதாரணமாக, ப்ளியாடீஸ் (Pleiades) என்ற பிரசித்தி பெற்ற கூட்டம் ஒரு பரந்த வெளிச்சம் பொருந்திய நெபுலாவில் காணப் படுகின்றது. இதன் ஒளி 'மெரோப் என்ற விண்மீனின் ஒளியையும், மற்றும் பிளியாடீஸைச் சேர்ந்த இதர ஒளிமிகுந்த விண்மீன்களின் ஒளியையும் உண்மையாகப் படியெடுத்துக் காண்பிக்கின்றது'. இன் னும் சில இடங்களில் நெபுலாக்கள் ஒளிபுகாத் தன்மையதாய் வானத்தில் ஒரு கறுப்புத் திரையாக படர்ந்திருக்கும். அடர்த்தி, ஒளிபுகாமை, வெளிச்சம் இவைகளில் உள்ள மாறுபாடுகள் மொத்தத்தில் நெபுலாக் களுக்குப் பலவித (பார்வைக்கு) விநோத உருவங்களைக் கொடுத்து அண்ட நெபுலாக்களில் காணப்படும் பலவித ஒளி, நிழல் மாறுபாடு களுக்கு அடிப்படையாக இருக்கும்.

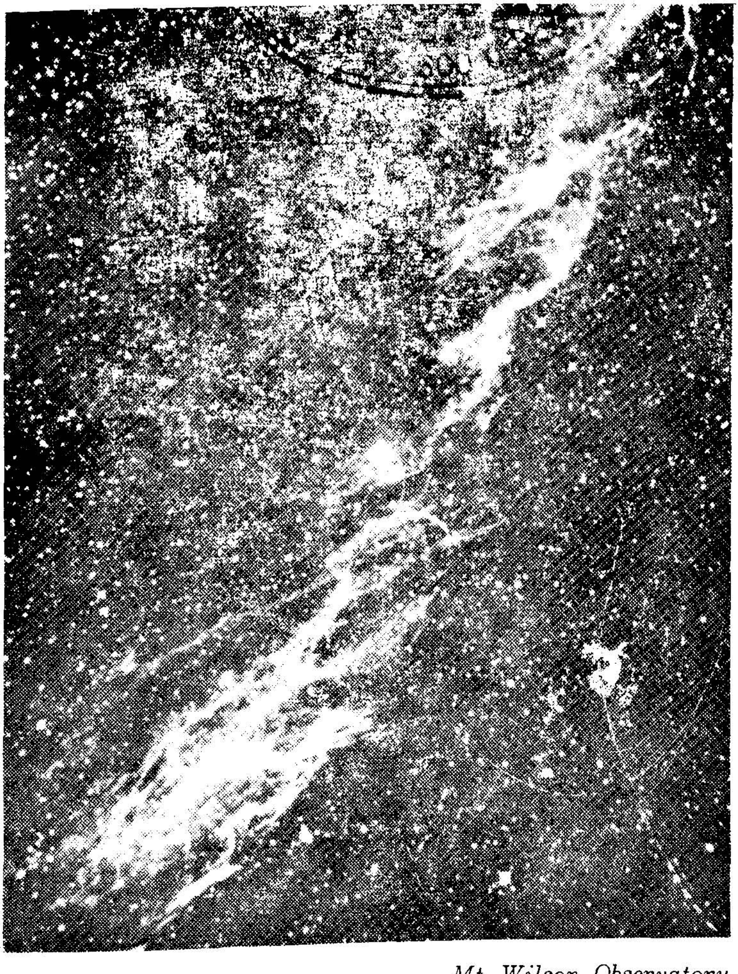
இதே மாதிரியான ஒளிபுகாத் தன்மைதான் விண்மீன்களின் பொது அமைப்புகளில் கறுப்புத் திட்டுகளுக்குக் காரணமாயிருப்பது. இதற் குச் சிறந்த உதாரணம் ஒளிப்படம் II-ல் (பக்கம் 19) காட்டப்பட்டிருக் கும் பால் மண்டலத்தின் பகுதியாகும். முதலில் விண்மீன் தொகுதிக் குள் ஒரு தொளைபோல் காணப்படும் கறுப்புத் திட்டு 'கோல் ஸாக்' (Coal Sack) என்று வடிவரீதியாக அழைக்கப்படும். இதைப்போன்ற இதர கறுப்புத் திட்டுகளை III, IV (பக்கம் 20) ஒளிப்படங்களிலும் மற்றும் VIII, IXஆம் ஒளிப்படங்களிலும் காணலாம். வானத்தில் இந்த மாதிரியான கறுப்புத் திட்டுகள் உண்மையில் தொளைகளாக இருக்கமுடியாது. ஏனென்றால், புவியை நோக்கி அமைக்கப்பட்ட காலி யாக உள்ள குடைந்த பாதைகள் இருப்பது சாத்தியமாகாது. ஆகை யினால், இவைகளைத் தங்களுக்குப் பின்புறம் உள்ள விண்மீன்களை மறைக்கும் பொருள்களாலான திரைகளாகவும், இத் திரை விண்மீன் களின் ஒளியை மங்கலாக்கியோ, முற்றிலும் மறைத்தோ கறுப்புத் திட்டுகளை ஏற்படுத்திவிடுகின்றன என்றும் கருதும்படியாகும்.

தனிச் சிறப்பு அண்டம்

மூன்றும் வகுப்பைச் சேர்ந்த நெபுலாக்கள் மொத்தத்தில் வேறு வகையைச் சேர்ந்தனவாகும். இவை பெரும்பாலும் ஒரு தெளிவான ஒழுங்குள்ள அமைப்பு உள்ளனவாகும். மேலும், இவைகளுக்குள்ள பல தனிப்பட்ட இயல்புகள் இவைகளை எளிதில் கண்டறிய சாதகமாக வுள்ளன. இவைகளில் அநேகம் சுருள்வடிவ அமைப்புள்ளனவாகும். ஆகையினால், இவைகள் 'சுருள்வடிவ நெபுலாக்கள்' என்று அழைக்கப் படுகின்றன. நன்றாகப் பார்க்கக்கூடிய சுருள்வடிவ நெபுலாக்கள் அண்மையில்தான் இருக்கின்றன. ஆண்டிரோமீடாவில் (Andromeda) உள்ள பெரிய நெபுலா எம் 31-ஐத்தான் (Great Nebula M 31) ஒளிப்படம் X-ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. இது வெறும் கண்ணால்கூடப் பார்க்கக்கூடியது. மேரியஸ் (Marius) என்ற வானநூல் அறிஞர்

இதை 1612ஆம் ஆண்டில் தொலைநோக்கியின்மூலம் பார்த்து, இதை 'ஓர் ஊதுகுழல்மூலம் காணப்படும் மெழுகுவத்தி ஒளியைப் போலுள்ளது' என்று விவரித்தார். ஒளிப்படம் XI-ல் காணப்படுவது இரண்டாவது உதாரணமாகும். இதன் பௌதிக அமைப்பு மேற் சொன்ன நெபுலாவைப்போல்தான். ஆனால், இதை இன்னொரு கோணத்தில், அதாவது கிட்டத்தட்ட விளிம்பை நேரெதிராக உடைய கோணத்தில் பார்க்கும்படியாகவும், ஒளிப்படம் XII-ல் உள்ள மூன்றும் நெபுலா இதே பொதுவகையைச் சேர்ந்ததாயினும் இதைப் பார்க்கும் கோணம் இதன் மத்திய மட்ட தளத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் இருக்கும்.

இந்த நெபுலாக்கள் எல்லாம் அண்ட அமைப்பிற்கு வெளியில் இருப்பதால் இவைகளுக்குத் 'தனிச் சிறப்பு அண்டம்' என்பது தகுந்த பெயராக இருக்கின்றது. அவைகளின் பரிமாணம் மிகப் பெரியது. ஒளிப்படம் X-லிருந்து XII-வரையிலுள்ளவைகளில் கொடுக்கப்பட் டிருக்கும் ஒளிப்படங்களில், புவியளவுள்ள ஒரு பொருள் அதிலிருப் பதைக் காணவேண்டுமாயின், ஐரோப்பிய கண்டம் அளவு அதைப் பெரிதுபடுத்தவேண்டும். அப்பொழுதுதான் மிகவும் திறனுடைய ஒரு நுண்பெருக்கிமூலமாயினும் பார்க்க முடியும். இவைகளின் பொது உருவம் சர் வில்லியம் ஹெர்ஷல் அண்டத் தொகுதிக்குக் குறித்தது போலவேயாகும். இந்தக் காரணத்தினல்தான் அவர் இவைகளைத் 'தீவு அண்டங்கள்' என்று கூறினர். சமீபத்தில் நடத்தப்பட்ட ஆராய்ச்சி இதை எப்படி ஊர்ஜிதப்படுத்தியிருக்கிறது என்பதைப் பின்பு காண்போம்; தனிச் சிறப்பு அண்ட நெபுலாக்கள். முற்றிலும் அல்லது அவைகளில் சிலவாயினும் நம்முடை அண்டத்தைப்போல் விண்மீன் தொகுதிகளாகும். ஆகையினல், தனிச் சிறப்பு அண்டங் களைப் பார்த்து, அவற்றிலிருந்து நம்முடைய அண்டம் இதன் வெளியி லிருந்து நாம் பார்த்தால் எப்படி இருக்கும் என்பதைத் தெளிவாக அறியலாம். ஒளிப்படம் X-ல் காட்டப்பட்டிருக்கும் நெபுலா, ஏறக் குறைய நம்முடையதைப் போலவே இருக்கலாம். ஒளிப்படம் XI-ல் உள்ள நெபுலாவும் இதே மாதிரிதான். இதை விளிம்புப் பக்கம்தான் பார்க்க முடியும். இவைகளிலுள்ள விண்மீன்களின் வட்டத் தகடுகள் (நாம் காணும்படி அமைந்த) மிகவும் தட்டையாக உள்ளன. இது கிட்டத்தட்ட எல்லாத் தனிச் சிறப்பு அண்ட நெபுலாக்களுக்கும் பொது வான இயல்பாகும். விளிம்பு முதலாகப் பார்க்கக்கூடிய ஆறு நெபுலாக் களை வைஸ், மாயால் (Wyse and Mayall) என்ற இருவர், அளந்து இவைகளின் நீளம், இவைகளின் பருமனைக் காட்டிலும் 8·9 மடங்கிற்கு (எப்பொழுதும்) குறைந்ததில்லை என்றும், இவைகளின் சராசரி விகிதம் 12·3 என்றும் முடிவு கூறியுள்ளனர். மத்தியில் உள்ள பொருள் திரட்டைத் தவிர, மற்றபடி, அண்டம் விண்மீன்களைக் கொண்ட ஒரு தட்டையான தகடு என்று நினைக்கலாம்.



Mt Wilson Observatory

சிக்னஸில் நெபுலா

ஒளிப்படம் VIII

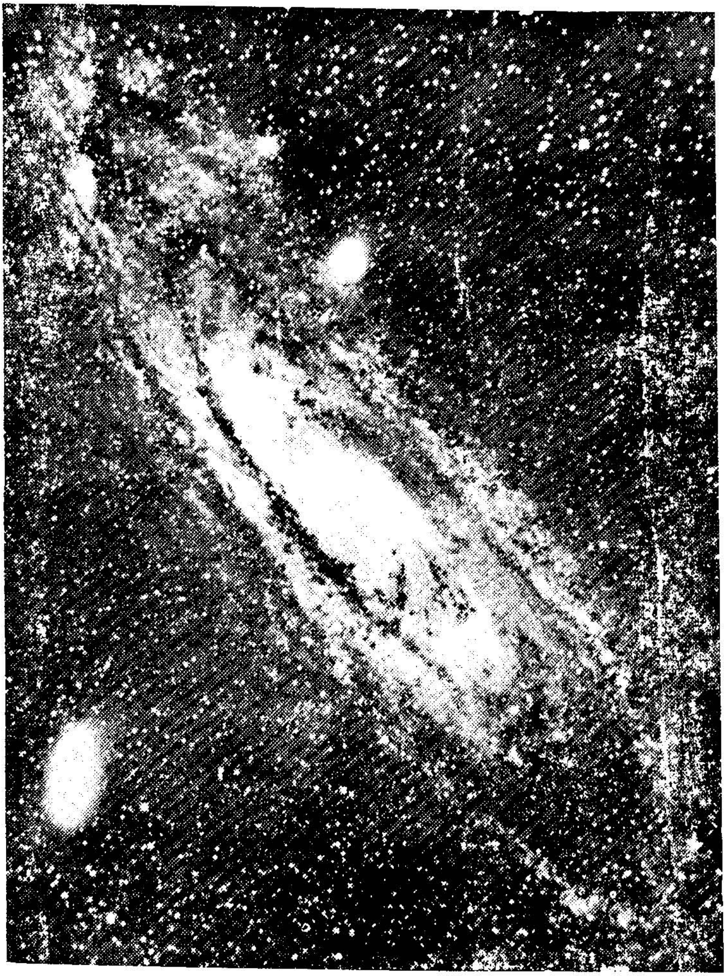
Mt Wilson Observatory

சாகிடேரியஸில் ட்ரிஃபிட் நெபுலா *M* 20

Mt Wilson Observatory

ஒரியன் நெபுலாவில் 'குதிரைத் தலை'

ஒளிப்படம் X



Yerkes Observatory

ஆன்ட்ரோமீடாவில் நெபுலா *M* 31

ஆன்ட்ரோமீடாவில் பெரும் நெபுலா *M* 31, அதனுடன் உறைகின்ற துணைகளோடு உள்ள படமாகும். தலைமை நெபுலாவும் நேர் மேலேயுள்ள *M* 32, இடது கீழ்ப்புறமுள்ள N.G.C. 205 ஆகிய இரண்டுமே துணைகளாகும். *M* 31-ன் இடப்புறத்தைப் பெரிதுப்படுத்தி ஒளிப்படம் V-லும் மத்தியப் பகுதியைப் பெரிதுபடுத்தியதை ஒளிப்படம் XVII-லும் காணலாம்.

விண்மீன்களின் தொலைவுகள்

1837ஆம் வருடம் நமக்கு வேண்டிய அடுத்தபடியான முக்கிய காலமாகும். இந்த வருடம்தான் ஒரு விண்மீனின் தொலைவு முதன் முதலில் அளக்கப்பட்டது.

கிறிஸ்து பிறந்து இரண்டாம் நூற்றாண்டில், டாலமி (Ptolemy) என்ற அறிஞர், புவி, வானத்தில் இயங்கக்கூடியதன்று என்றும், அப்படி இயங்கினால், மற்ற விண்மீன்களுடன் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கும் வகையில் அதன் நிலை தொடர்ந்து மாறிக்கொண்டே இருக்கும் என்றும் விவாதித்தார். புவி, ஞாயிற்றைச் சுற்றி ஊசலாடுவதால் அதன் வாசிகள் ஓர் ஊசலாடும் குழந்தை அருகிலுள்ள மரங்களைப் பார்ப்பது போன்ற ஒரு நிலையில் இருப்பார்கள். ஆகையினால், தொலைவில் உள்ள விண்மீன்களோடு ஒப்பிட்டுக் காணும் வகையில் அண்மையிலுள்ள விண்மீன்கள் மாறிமாறி வரும். இருந்தாலும் இரவுதோறும் விண்மீன் மண்டலங்கள் அப்படியே இருப்பதாய்க் காணப்பட்டன. டாலமி அப்படி இருப்பதாக நினைத்தார். அதே விண்மீன்கள் துருவத்தைச் சுற்றி இயங்கிவரும். நன்றாகப் பார்க்கக்கூடிய விண்மீன் தொகுப்புகளாகிய, ஏழு விண்மீன்கள் கொண்ட சப்தரிஷி மண்டலம், ப்ளியாடீஸ் இவைகளும், ஓரியான் என்ற விண்மீன் மண்டலமும் யாதொரு மாறுதலையும் காண்பிக்கவில்லை. மனிதனால் காணக்கூடிய அளவில், இந்த விண்மீன்கள், ஒரு கித்தானின்மேல் பனிச்சென்று காணக்கூடிய வர்ணம்போலும், இது, புவியை ஓர் அச்சாக வைத்து அதைச் சுற்றி வருகின்ற ஓர் அமைப்பாகும் என்றும் சொல்லலாம்.

இதற்கு மாறாகக் கோபர்னிகஸின் கொள்கைப்படி அண்மையிலுள்ள விண்மீன்கள் தொலைவிலுள்ள விண்மீன்களின் பின்னணியில் இயங்கிச் செல்வதாய்க் காணப்படவேண்டும். இது, புவி, ஞாயிற்றைச் சுற்றி ஓர் ஆண்டுக் கால அளவில் இயங்கிவரும்பொழுது நிகழ வேண்டும். ஆயினும், வருடக்கணக்கான கால அளவிலும், இன்னும் பல நூற்றாண்டுக் காலங்களிலும் இந்த மாதிரி இயக்கம் காணப்படவில்லை. ஆகையினால், பழைய டாலமியின் கொள்கையே, அதாவது புவி, அண்டத்தின் மையம் என்னும் கொள்கையே ஏற்றுக்கொள்ளக் கூடியதாக இருந்தது. ஆனால், பலவகைப்பட்ட ஆராய்ச்சியின் காரணமாக மிக அண்மையில் உள்ள விண்மீன்களும் உண்மையில் வெகு தொலைவில்தான் உள்ளன என்பதை அறிந்தனர். ஆகையினால், இந்த விண்மீன்கள் இயங்காமல், ஒரே இடத்தில் இருப்பதுபோல் காணப்படுவதில் ஒருவித வியப்பும் இல்லை. ஓர் ஊஞ்சலில் உள்ள குழந்தைக்கு அண்மை என்பது 20 மைல் தூரமாயின், அதன் ஊஞ்சலின் இயக்கமே தன் கண்ணுக்குத் தெரியாமல் இருக்கலாம்.

விண்மீன்கள் தொலைவிலிருப்பதற்கு மிகவும் நேரிடையான ஆதாரம் அவைகள் மங்கலாகக் காணப்படுவதே. விண்மீன்கள் ஞாயிற்றைப் போன்ற பொருள்களாக இருந்தால், இவைகளின் தோற்ற ஒளிர்விற்கும், ஞாயிற்றின் ஒளிர்விற்கும் உள்ள வேறுபாட்டைக்கொண்டு இவைகளின் தொலைவுகளில் உள்ள வேறுபாட்டினை அறியலாம். உதாரணமாக, ஸிரியஸ் என்ற வானத்தில் மிக வெளிச்சமாகக் காணப்படும் விண்மீனின் ஒளியைவிட ஞாயிற்றின் ஒளி 11,500 மிலியன் மடங்கு அதிகமாக நமக்குக் கிடைக்கிறது. ஓர் ஒளிர்வுள்ள பொருளின் வெளிச்சம் அதன் தூரத்தின் இரண்டாம் அடுக்குக்கேற்பக் குறையும். ஆகையினால், ஞாயிறும் ஸிரியஸும் ஒரே மாதிரியான பொருள்களாயின், ஸிரியஸின் தூரம் ஞாயிற்றினுடையதைப்போல் 107,000 மடங்காகும்—11,500 மிலியன் என்பது 107,000-ன் இரண்டாம் அடுக்கு. உண்மையில் ஸிரியஸ் அதிக ஒளியுடையது. ஆகையினால் அதன் தூரம், நாம் கணக்கிட்டிருப்பதைவிட அதிகமாயிருக்கும். அநேக காலத்திற்கு வானநூல் அறிஞர்கள் விண்மீன்களின் ஊசல் இயக்கத்தைக் கண்டு பிடிக்க முடியாமல் இருந்ததுபற்றி ஐயமுறவேண்டியதில்லை. இந்த ஊசல் இயக்கத்தைப் 'பாரலக்டிக் இயக்கம்' என்று கலைச்சொல்லில் கூறுவர். இது புவியின் சுற்றுப்பாதை இயக்கத்தினால் ஏற்படுவது.

கடைசியில், 1837ஆம் ஆண்டு ஸ்ட்ரூவ் என்பவர் வேகா (Vega)வின் பாரலக்டிக் இயக்கத்தைக் கண்டுபிடித்தார். இதிலிருந்து வேகாவின் தூரம் 26 ஒளி வருடங்கள் (பக்கம் 22) என்று கண்டுபிடித்தார். ஆனால், அவருடைய ஆராய்ச்சியில் ஒன்றுக்கொன்று முரண்பாடுடைய அம்சங்கள் இருந்ததனால், அவரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட தூரம் பாதி அளவுக்குக் குறையாமல் தவறாக இருக்கவேண்டும் என்று கூறலாம்.

இப்பொழுது, இஃது உண்மை தூரத்தைவிட பாதிக்கும் குறைவு என்பது தெரிந்துவிட்டது. இதற்கு அடுத்த வருடம் பெஸ்ஸல் (Bessel) என்பவர் 61 சிக்னியின் (61 Cygni) பாரலக்டிக் இயக்கத்தைக் கண்டார். அவரால் நிர்ணயிக்கப்பட்ட தூரம் 10·5 ஒளி வருடங்கள் என்பதாகும். அவருடைய ஆராய்ச்சியில் முரண்பாடுகள் இல்லை. அதனால் தற்காலத்தில் கணக்கிட்டுப் பார்த்ததிலும் இதன் தூரம் 11·1 ஒளி வருடங்கள்தான் என்று தெரியவருகிறது. அதே வருடம் மிக அண்மையில் உள்ள α ஸென்டாரியின் தூரத்தை ஹெண்டர்ஸன் என்பவர் $3\frac{1}{4}$ ஒளி வருடங்கள் என்று கணக்கிட்டிருக்கிறார். இதன் மதிப்பு தற்போது நமக்குத் தெரிந்தவரை 4·31 ஒளி வருடங்கள் என்பதாகும். தற்கால அளவின்படி இந்த மதிப்பெல்லாம் மிகவும் சரியானதல்லாவிடினும், அண்டம் அமைக்கப்பட்டிருக்கும் மாபெரும் வகைக்குப் போற்றக்கூடிய ஆதாரமாக விளங்குகிறது.

Mt Wilson Observatory

ஆன்ரோமீடாவில் நெபுலா N.G.C. 891 (பக்கவாட்டில்)

ஒளிப்படம் XII

Mt Wilson Observatory

நெபுலா N.G.C. 7217

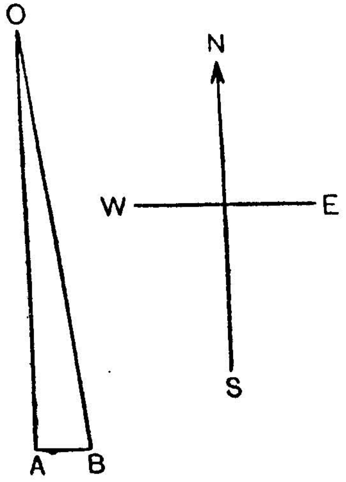
இந்தப் பெரும் தூரங்களை அளக்கும் முறையைப்பற்றி இப்பொழுது பார்ப்போம். முதலில் சில மைல்கள் அளவிற்கு உள்ள அடிப்படைக் கோடு ஒன்றைப் புவியின் மேற்புறத்தில் எடுத்துக் கொண்டு, ஒரு மூல அளவான கெஜம் அல்லது மீட்டரை இதற்கு ஒப்பிடவேண்டும். இந்த அடிப்படைக் கோட்டிலிருந்து புவியின்மேல் நடத்தப்படும் ஓர் அளவீடு புவியின்மேல் ஒரு நீண்ட குறுகிய பகுதியை வரையறுத்துவிடும். இது வடக்கிலிருந்து தெற்கு நோக்கிச் செல்வதாயின் நல்லது. இதன் இரு முனைகளின் அட்சரேகைகளின் வித்தியாசத்தை வானநூல் முறையில் அளந்து கணக்கிடவேண்டும். உதாரணமாக, வடமீன் (தென்மீன்), இதன் உயரத்தை இரண்டு இடங்களிலும் அளந்து இதன் வித்தியாசத்தைக் கணக்கிடலாம். நம்முடைய நிலப் பகுதியின் நீளம் முன்னதாகவே மைல்கள் அளவில் தெரிந்திருப்பதால் புவியின் பரிமாணம் தெரிந்துவிடுகிறது.

நம் முறை பண்டை கிரேக்க ஜியோமிதியாளர்கள் பயன்படுத்திய முறையேதான். இந்த முறையில் அலெக்ஸாந்திரியாவைச் சேர்ந்த இரடாஸ்தனீஸ் (Eratosthenes) என்பவர் புவியின் சுற்றளவை 250,000 ஸ்டேடியா என்று கணக்கிட்டிருக்கிறார். இந்த அளவு ஸ்டேடியனுக்கு எவ்வளவு நீளம் என்பதைச் சரியான முறையில் யூகித்துப் பார்த்தால் உண்மையான நிலை இதுதான் என்பது தெளிவாகும். சர்வதேசப் புவிச் சங்கத்தாரால் ஒப்புக்கொள்ளப்பட்ட புவியின் மத்தியதள விட்டம் 6378·388 கிலோ மீட்டர்களாகும். இது 3963·34 மைல்களாகும். புவியின் துருவ விட்டம் 6356·912 கிலோ மீட்டர்கள் அல்லது 3949·99 மைல்களாகும்.

புவியின் பரிமாணத்தை நிர்ணயித்த பிறகு அடுத்தபடியாகச் செய்யவேண்டியது அருகில் உள்ள வானப் பொருள்களின் தூரத்தை நிர்ணயிப்பதே. அருகில் உள்ள பொருள்களில் சந்திரனின் தூரம் எளிதில் கணக்கிடக்கூடியதாகும்.

இந்த முறை புவியில் உள்ள ஓர் அளவாளர், தனக்கு எட்டாத ஒரு பொருளை அளப்பது போலவேயாகும். அவர் A என்ற புள்ளியில் நின்றுகொண்டு O என்ற பொருளைக் குறிக்கும் புள்ளி அவருக்கு நேர் வடக்கில் இருப்பதாக வைப்போம். அப்பொழுது அவர் தனக்குக் கிழக்கில் A என்ற புள்ளிக்கு ஒரு மைல் தூரத்திலிருக்கும் B என்ற புள்ளிக்கு நகரலாம். அப்படி நகர்ந்த பிறகு அந்தப் பொருள் வடக்கிலிருந்து 5° மேற்கில் இருக்கும். இப்பொழுது AOB என்ற முக்கோணத்தின் உருவம் அவருக்குக் கிடைத்துவிடும்—அதன் கோணங்கள் முறையே 90°, 5°, 85° ஆகும். அந்தக் கோணத்தின் ஒரு பக்கம் $AB=1$ மைல் என்பதும் தெரியும். இதிலிருந்து ஓர் எளிய வரைதலி

ருலோ அல்லது கணக்கீட்டினுலோ $AO = 11{\cdot}43$ மைல்கள், $BO = 11{\cdot}47$ மைல்கள் என்று அறியலாம். இஃது அவருக்கு வேண்டிய தகவலை அளித்துவிடுகிறது. AB என்ற கோடு அடிப்படைக்கோடு என்று அழைக்கப்படும். இந்தக் கோடு அளக்கவேண்டிய தூரத்தைவிட மிகச் சிறியதாக இருந்தால் சில தொல்லைகள் ஏற்படும். அளக்கப்படும் கோணங்களிலும், திசைகளிலும் சிறிய தவறுகள் இருந்தாலும் கணக்கிடப்படும் தூரத்தில் அதிக தவறு ஏற்பட்டுவிடும்.



படம் 2.

அணுகமுடியாத பொருள் சந்திரனுயிருக்கும்பட்சத்தில் வானநூல் அறிஞர் பல ஆயிரம் மைல்களுக்கப்பால் இருக்கும் இரண்டு வானுராய்ச்சி நிலையங்களுக்கு இடையில் உள்ள தூரத்தை அடிப்படைக் கோடாக எடுத்துக்கொள்வார். இரண்டு வானுராய்ச்சி நிலையங்களிலும் ஒரே சமயத்தில் கண்டு அளப்பது AOB என்ற முக்கோணத்தின் கோணங்களைக் கொடுக்கும். இதிலிருந்து சந்திரனின் தூரத்தை எளிதில் கணக்கிட்டுவிடலாம். சந்திரன் புவியைச் சுற்றி ஒரு சரியான வட்டப் பாதையில் செல்லாததனுல் இந்த தூரம் 222,000 மைல்களிலிருந்து 253,000 மைல்களுக்குள் அடங்கும். இதன் சராசரி தூரம் கிட்டத்தட்ட 238,900 மைல்களாகும். அதாவது, புவியின் அரை விட்டத்தைப்போல் 60 மடங்கு குறைவாகும்.

இந்த முறையில் ஞாயிற்றின் தூரத்தை அளப்பது கடினமாகும். இதற்குக் காரணம் அதன் தூரம் புவியின் அரைவிட்டத்தைப்போல் 20,000 மடங்கு, அதாவது நம்மால் எடுத்துக்கொள்ளக்கூடிய அடிப்படைக் கோட்டின் நீளத்தைப்போல் 10,000 மடங்கு இருப்பதாகும். மேலும், ஞாயிறு அதிக ஒளியை உடையதனுலாகும். ஞாயிற்றுக்கும் கோள்களுக்கும் உள்ள தூரங்கள் சரியானபடி கணக்கிடப்பட்டிருப்பதால் இதில் ஏதாவது ஒரு தூரம் நமக்குக் கிடைத்தாலும் மற்ற தூரங்களை உடனே கண்டுபிடித்துவிடலாம். இம்மாதிரியே நமக்கு அண்மையில் உள்ள வெள்ளி, செவ்வாய் இவைகளின் தூரங்களைக் கண்டுபிடித்திருக்கின்றுர்கள். சமீபத்தில் சிறு கோள்களின் தூரங்களையும் கண்டுபிடித்திருக்கின்றனர். 1898-ல் ஈராஸ் என்னும் சிறு கோளைக் கண்டுபிடித்தது மிகவும் இந்தவகையில் பயனுள்ளதாயிற்று. இஃது, எப்

பொழுதாவது புவிக்கு 14 மில்லியன் மைல் அருகில் வருவதுமல்லாமல் இதன் விட்டம் 16 மைல்களாக இருப்பதனுல் இதை வானவெளியில் பார்ப்பதற்கு ஒரு புள்ளியாக வைத்து ஆராய்ச்சி செய்யலாம். 1931-ஆம் ஆண்டு புவிக்கு 16,000,000 மைல்களுக்குள் இஃது இருந்ததால் இதன் தூரங்களைப் பல வான ஆராய்ச்சி நிலையங்களிலிருந்து கணக்கிட்டு, இதிலிருந்து, ஸ்பென்ஸர் ஜோன்ஸ் (Spencer Jones) என்பவர் ஞாயிற்றின் தூரம் கிட்டத்தட்ட 93,000,000 மைல்களாகும் என்று முடிவு கூறியுள்ளார். அவர் கொடுத்திருக்கும் சரியான எண் 93,003,000 ஆகும். இது 10,000-ல் 1 பங்கு அளவில் சரியானதாகும்.

இதற்கு அடுத்ததும் மிகவும் பெரிய பிரச்சினையாகவும் இருப்பது விண்மீன்களின் தூரங்களை நிர்ணயிப்பது. எந்த அடிப்படைக் கோட்டை எடுத்தாலும் அது மிகவும் சிறியதாக இருக்கும். ஆகையினுல், இந்த அளவு பயனற்றதாகும். புவி, சூரியனைச் சுற்றும் சுற்றுப் பாதையின் விட்டமாகிய 186,000,000 மைல்கள் தூரத்திற்குக் குறைந்த அளவு எதுவாகிலும் நமக்குப் போதியதாகாது. இதுவும் மிகச் சிறியதேயாகும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட கெஜம் அல்லது மீட்டரிலிருந்து, புவியின் மேற்புறத்தில் உள்ள அடிப்படைக் கோட்டிற்கு ஒப்பிடுவது அநேக ஆயிர மடங்கு அளவில் விரிவடையும். இந்த அடிப்படைக் கோட்டின் அளவிலிருந்து புவியின் விட்ட அளவிற்கு இன்னும் அநேக ஆயிரமடங்கு அதிகரிப்பு வேண்டும். ஆனுல், புவியின் சுற்றுப்பாதையிலிருந்து, விண்மீன்களின் தூரத்திற்குப் பல மிலியன்களளவில் அதிகரிப்பு அடையும்.

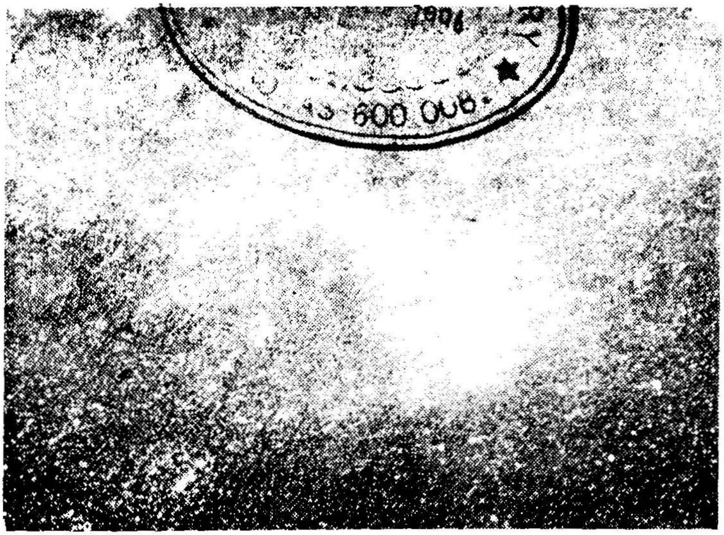
சமீபத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட அளவுகளிலிருந்து, நமக்கு அண்மையில் உள்ள விண்மீன் சரியாக மிகவும் அண்மையில் உள்ள கோளைக்காட்டிலும் பல மிலியன் மடங்கு தூரத்தில் உள்ளது என்று தெரிய வருகிறது. புவியிலிருந்து குறைந்த தூரத்தில் இருக்கும் பொழுது வெள்ளியின் தூரம் 26 மிலியன் மைல்களாகும். இதே நிலையில் ப்ராக்ஸிமா ஸெண்டாரியின் (Proxima Centauri) தூரம் 25,000,000 மிலியன் மைல்களாகும். இந்த விண்மீன் தெற்கு அரைக் கோளத்தைச் சேர்ந்த பிரசித்திபெற்றதும் மிகவும் ஒளியுடையதாயும் திகழ்கின்ற α செண்டாரியின் மங்கலான தோழனுகும். நமக்கு மிகவும் அண்மையில் இருக்கும் மூன்று கோள்களின் தூரத்தைக் கொடுக்கும் படியாகவும், அதே சமயத்தில் மூன்று விண்மீன்களின் தூரத்தைக் (அவை நமக்கு மிகவும் அண்மையில் உள்ளபொழுது) கொடுக்கும் படியாகவும் அடுத்த பக்கத்தில் ஓர் அட்டவணை கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது.

கோள்கள்		விண்மீன்கள்		
பெயர்	தூரம் (மைல்கள்)	பெயர்	தூரம் (மைல்கள்)	தூரம் (ஒளி-ஆண்டுகள்)
			மில்லியன்	
வெள்ளி	26,000,000	ப்ராக்ஸிமா ஸென்டாரி	25,000,000	4·27
		α ஸென்டாரி	,,	4·31
செவ்வாய்	35,000,000	ரூனிக் 15040	35,000,000	6·04
புதன்	47,000,000	வுல்ஃப் 359	48,000,000	8·14

ஒரு மிலியனை (பத்து இலட்சம்) எண்ணிப்பார்ப்பதே கடினம். அப்படியிருப்பதால் விண்மீன்கள், கோள்களிலிருந்து இவ்வளவு மிலியன் மைல்கள் என்று குறிப்பிடுவது ஞாயிற்றுக் குடும்பத்திற்கும் அதன் அண்மையில் வானவெளியில் உள்ள இதர பொருள்களுக்கும் உள்ள இடைவெளியின் பிரம்மாண்ட அளவைப்பற்றி ஏதோ ஒரு மெல்லிய குறிப்பைத்தான் கொடுக்கிறது என்று சொல்லவேண்டும். விண்மீன்களின் தோற்ற அளவில் உள்ள உறுதியான இட அமைப்பு அவைகளின் தூரத்தைப்பற்றி விரிவான ஓர் உணர்ச்சியைக் கொடுக்கின்றது.

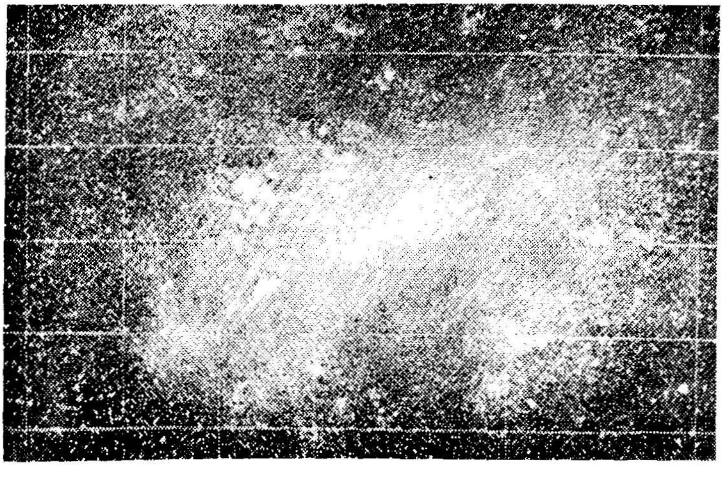
புவி, ஞாயிற்றை ஒரு விநாடிக்கு $18\frac{1}{2}$ மைல் வேகத்தில் வருடாந்திரச் சுற்றுப் பாதையில் செல்லுகிறது. இஃது ஓர் எக்ஸ்பிரஸ் வண்டியின் வேகத்தைப்போல் 1000 மடங்குகளாகும். ஞாயிறு இதே வேகத்தில் தான் அதைச் சுற்றியுள்ள விண்மீன் கூட்டங்களைக் கடந்து செல்லுகிறது. விரிவாகச் சொல்லப்போனால் அண்மையில் உள்ள கோள்களும், அண்மையில் உள்ள விண்மீன்களில் பெரும்பாலும் கருதத்தக்க வேகங்களில்தான் இயங்குகின்றன. இந்த வானப் பொருள்களெல்லாம் ஒரே வேகங்களில்தான் செல்லுவதாக வைத்தாலும் நமக்கு ஏறக்குறைய சரியான தோராய அளவு கிடைத்துவிடும். அப்படியிருப்பின் அவை வானத்தில் செல்லும்பொழுது அவைகளின் வேகம் அவைகளின் தூரத்தைச் சரியாக நிர்ணயிக்க உதவும்—அதாவது வேகம் குறைவானல் தூரம் அதிகமாகும். இதேபோல் வேகம் அதிகமானல் தூரம் குறையும். இந்த முறையைக் கொண்டுதான் வானநூல் அறிஞர் மிக அண்மையில் உள்ள விண்மீனைத் தேர்ந்தெடுக்கிருர்.

கோள்கள் வானத்தில் வெகு வேகமாகச் செல்வதனல் அவைகளின் இயக்கத்தை இரவுதோறும், மணிதோறும் கண்டுபிடிக்கலாம். ஆனல்,



Harvard (Arequipa) Observatory

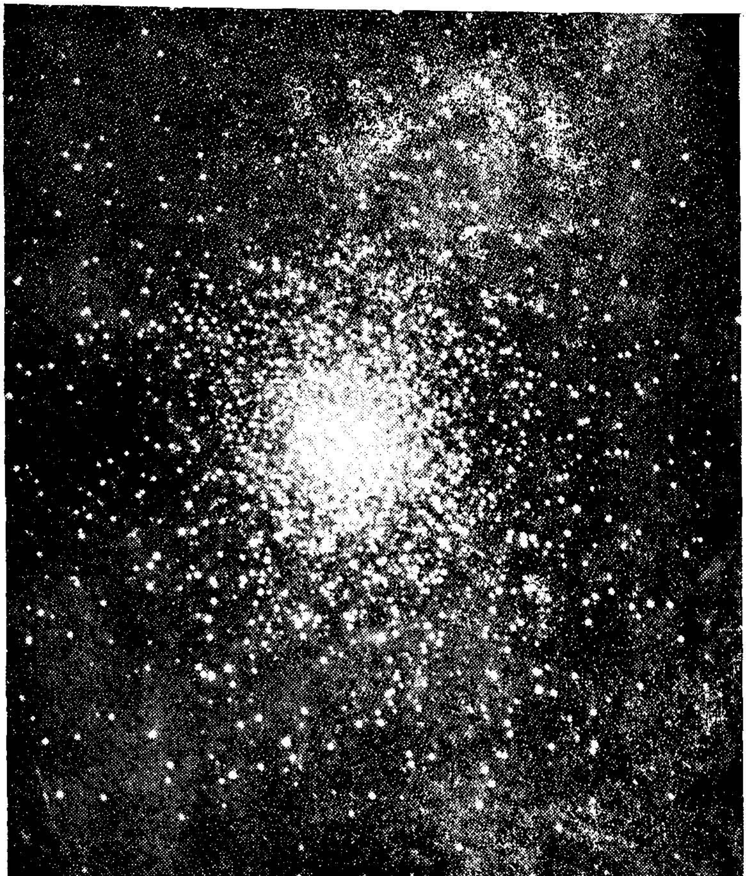
சிறிய மெகலனிக் மேகம்



Franklin-Adams Chart

பெரிய மெகலனிக் மேகம்

ஒளிப்படம் XIV



Dominion Astrophysical Observatory, B.C.

ஹெர்குலீஸில் *M* 13 என்ற உருண்டைக் கொத்து

விண்மீன்கள் வெகு நிதானமாக இயங்குவதால் இவற்றின் இயக்கத்தை, தலைமுறை காலங்களானாலும், அல்லது ஊழிக் காலங்களானாலும் தொலை நோக்கியில்லாமல் கண்டுபிடிக்க முடியாது. நம்மால் நன்ருகக் காணக் கூடிய விண்மீன் மண்டலங்கள்கூட (இந்த மண்டலங்கள் அருகில் உள்ள விண்மீன்களைக் கொண்டவையாகும்) சரித்திரக் காலம்வரை இப்பொழுது காணப்படுவது போன்றே எப்பொழுதும் காணப்பட்டன. கோள்கள் மணிக்கு மணி நிலைமாறுவதும், விண்மீன்கள் ஒரு நூற்றுண்டுக் காலத்திலும் நிலைமாருமல் அப்படியே இருப்பதும் இவை களின் தூரத்தை நன்கு உணர்த்துகிறது.

விண்மீன்களின் சரியான (உண்மையான) தூரங்களை எண்ணிப் பார்ப்பது கடினம். இவைகளுள் நமக்கு மிகவும் அருகில் உள்ள விண்மீனின் தூரம் 25,000,000 மிலியன் மைல்கள் என்று சொல்வதை விட இது $4\frac{1}{4}$ ஒளி வருடங்கள்—ஒளி, விநாடிக்கு 1,86,000 மைல்கள் வீதம் சென்று நம்மை அடைய எடுத்துக்கொள்ளும் காலம் $4\frac{1}{4}$ வருடங் களானல் இந்தக் காலத்தில் அது கடந்திருக்கும் தூரம்—என்று சொன்னல் நமக்கு ஒருவாறு புரியும்.

ஒளி, கம்பியிலா சைகைச் செய்திகளைப் போன்ற வேகத்திலேயே செல்லுகின்றது. ஏனென்ருல், இரண்டும் மின்சார அசைவினல் ஏற் படும் அலைகளாகும். இஃது ஒலியின் வேகத்தைப்போல் ஏறக்குறைய ஒரு மிலியன் மடங்காகும். ஒலியின் வேகத்திற்கும், மின்சார அலை களின் வேகத்திற்கும் உள்ள ஒரு பெரிய வித்தியாசம் சாதாரணமாக ஒலிபரப்பியினல் தெரியும். ஒரு பேச்சாளர் லண்டனிலிருந்து பேசும் பொழுது, அவருடைய குரல் அவருக்கு முன் 3 அடி தூரத்தில் உள்ள ஒலிபெருக்கியினுள் ஒலி அலையாகச் செல்வதற்கு, மின்சார அலையாக 500 மைல்கள் தூரத்திலுள்ள ஸ்காட்லாந்திற்குச் செல்லும் காலத்தை விட அதிகமாகும். ஆஸ்திரேலியாவிலுள்ள நேயர்கள், லண்டனி லிருந்து ஒலிபரப்பப்படும் ஓர் இசை நிகழ்ச்சியை, லண்டனில் இசை மண்டபத்திலுள்ள சாதாரண (ஒலியை நம்பியிருக்கும்) நேயர்களைவிட சீக்கிரமாகவே கேட்கிருர்கள். லண்டனில் உள்ளவர்கள் இசை ஆரம் பிக்கப்பட்டவுடன் $\frac{1}{15}$ விநடிகள் கழித்தே அதைக் கேட்கிருர்கள். இதே கம்பியிலா அலைகள் ஒளியின் வேகத்தில் சென்ருலும், நமக்கு மிக அருகில் உள்ள விண்மீனை அடைவதற்கு $4\frac{1}{4}$ ஒளி வருடங்கள் எடுத்துக் கொள்கின்றன. அதாவது, ப்ராக்ஸிமா ஸென்டாரி (Proxima Centauri) என்னும் விண்மீனில் உள்ளவர்கள் நாம் கேட்கும் இசை நிகழ்ச்சியை $4\frac{1}{4}$ ஒளி வருடங்கள் கழித்தே கேட்பார்கள். இன்னும், கால அளவில், புவியிலுள்ள இசை நிகழ்ச்சி, நார்மன் வெற்றியின் பொழுது ஆரம்பித்திருந்தாலும், பிரமிடுகளைக் கட்டிய காலத்தில் ஆரம்பித்திருந்தாலும், அல்லது புவியில் மனிதன் தோன்றிய காலத்

திற்கு முன்பே ஆரம்பித்திருந்தாலும்—அல்லது புவியில் எந்த உயிரினமும் ஆரம்பிக்குமுன் ஆரம்பித்திருந்தாலும், இன்னும் பிரயாணத்திலேயே இருந்துகொண்டு அது அடைய முடியாத தூரத்திலுள்ள விண்மீன்களேயும் நாம் ஆராயவேண்டும்.

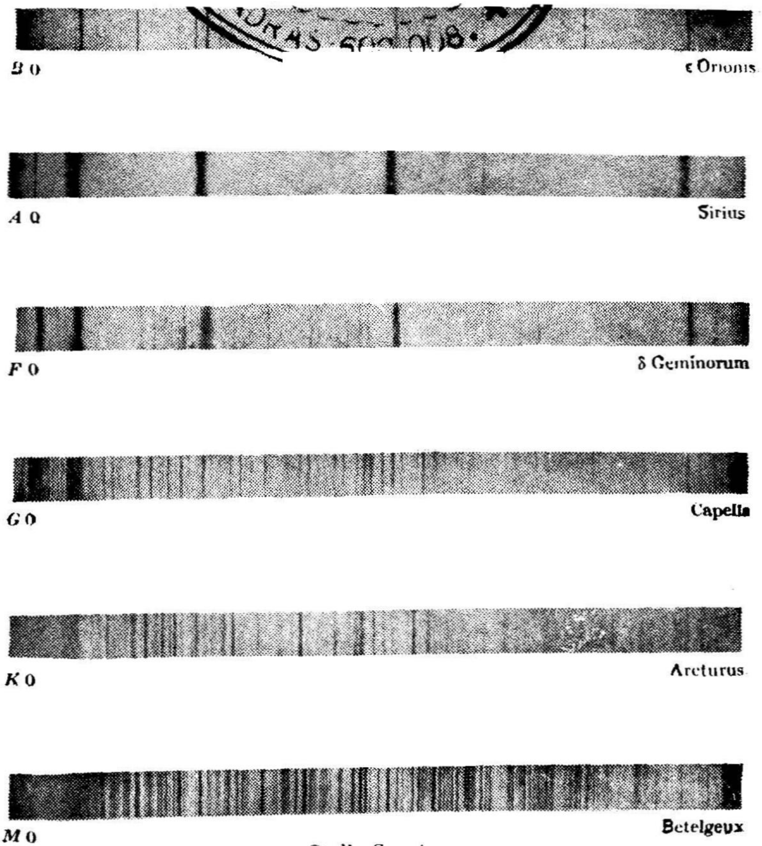
நிறமாலேப் பகுப்பாராய்ச்சி

அடுத்தபடியாக நிறமாலேப் பகுப்பாராய்ச்சியை வானநூலுக்கு வேண்டிய அளவு பயன்படுத்திக்கொள்ளலாம். எல்லா ஒளிகளும், பல நிற ஒளிகளின் சேர்க்கையாகும். நியூடன், பட்டகத்தைக் கொண்டு எப்படி ஞாயிற்றின் ஒளியை வானவில்லிலுள்ள பலநிற ஒளிகளாகப் பிரித்தாரோ அதேபோல் நிறமாலேக்காட்டியினுல் செய்யப்படும் சோதனே, விண்மீன் அல்லது இதர மூலப் பொருள்களிலிருந்து வரும் ஒளியை, அதன் பலநிற ஒளிகளாகப் பிரித்துக் காட்டும். அந்தக் கருவி ஒளியை, நிற வகையாகப் பிரித்து ‘நிறமாலே’ என்று சொல்லப்படும் ஒளி அணியைக் கொடுக்கிறது. இதில் உள்ள நிறங்கள் வானவில்லில் உள்ள நிறங்களேப்போல் முதலில் ஊதாவில் ஆரம்பித்து, அடுத்து நீலம், பச்சை, மஞ்சள், ஆரஞ்சு, சிவப்பு என்ற வரிசையில் உள்ளன. இதற்குக் காரணம் வானவில்லே ஒளியின் நிறமாலேயாகும் என்பதே. உலகத்தில் எளிய நிறமாலேக்காட்டி ஒரு நீர்த்துளியோ அல்லது பனித்துளியோ ஆகும். இந்தமாதிரியான பல துளிகள்—பனித்துளி சார்ந்த புல்தரை அல்லது மழைச்சாரல்—சேர்ந்தால் இஃது ஒரு சிறந்த நிறமாலேக்காட்டியாகும். சோதனேக் கூடத்திலுள்ள நிறமாலேக் காட்டி ஒளியைப் பிரித்துக் காட்டுவதுபோலவே இதுவும் செய்யும்.

இந்த மாருத நிறவரிசைக்கு ஒரு காரணம் உள்ளது. ஒளி அடுத்துள்ள அலேகளினுலான ஓர் அமைப்பு என்று வைத்துக்கொண்டு இதிலிருந்து அதன் தன்மைகளே விளக்கிவிடலாம். இந்த அடுத்துள்ள அலேகள் என்பது ஒரு குட்டையில் காற்றினுல் ஏற்படுத்தப்படும் சிறு அலேகளேப்போலாகும். ஒளியின் நிற மாறுதல்கள் அதன் அலேகளின் வெவ்வேறு நீளங்களினுல் ஏற்படுகிறது. சிவப்பு ஒளி மிக நீளமான அலேகளினுலும், ஊதா ஒளி மிகக் குட்டையான அலேகளினுலும் ஏற்படுகிறது. நிறமாலேயில் உள்ள நிறங்கள் அந்த நிறங்களின் அலே நீளங்களேப்பொறுத்து வரிசையாக உள்ளன. மிக நீளமான (சிவப்பு) அலேயிலிருந்து மிகக் குட்டையான (ஊதா) அலேவரை அமைந்திருக்கின்றன.

1814ஆம் ஆண்டு ஃப்ரான்ஹாஃபர் (Fraunhofer) என்பவர் நியூடன் செய்ததுபோலவே ஞாயிற்றின் ஒளியை ஆராய்ந்து அதன் நிறமாலேயில் கறுப்புக் கோடுகள் ஆங்காங்கே இருப்பதைக் கண்டார்.

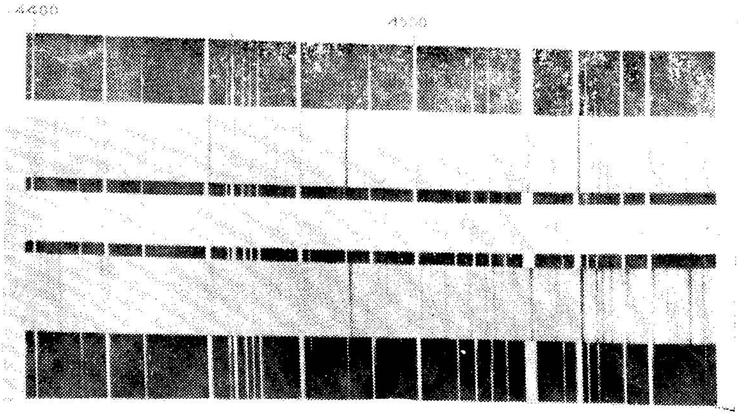
ஒளிப்படம் XV



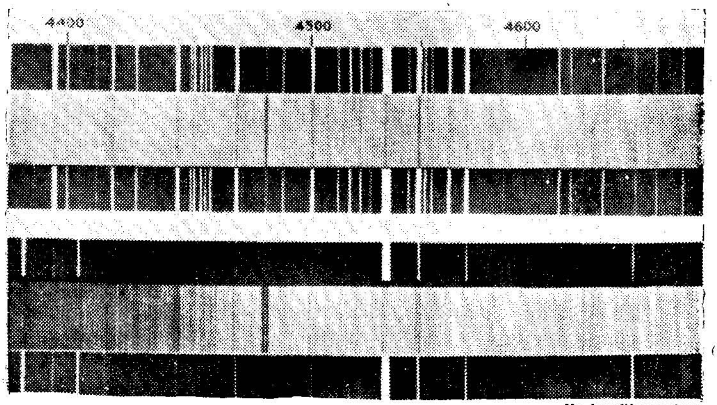
Stella Spectra

விண்மீன் நிறமாலைகள்

ஒளிப்படம் XVI



Spectrum of μ Orionis showing variable velocity



Yerkes Observatory

Spectrum of ζ Ursae Majoris showing lines doubled

விண்மீன் நிறமாலையில் டாப்ளர் விளைவு

இதற்குக் காரணம் சில நிறங்கள் (சிறிய அளவு அலை நீளங்களை உடைய) அதில் இல்லாமலிருப்பதோ அல்லது குறைந்திருப்பதோ ஆகும். இந்தக் கோடுகளுக்கு ஃப்ரான்ஹாஃபர் கோடுகள் (Fraunhofer lines) என்று பெயர். இதற்கான காரணங்களைப் பின்பு (அதிகாரம் 2) காண்போம்.

இதிலிருந்து எல்லா விண்மீன்களின் நிறமாலைகளிலும் இவ்வாறான கோடுகள் இருக்கின்றன என்பது தெரிந்தது. உதாரணங்களாகச் சில விண்மீன்களின் நிறமாலைகளை ஒளிப்படம் XV-ல் (பக்கம் 36) காட்டப்பட்டிருக்கின்றது. இந்தக் கோடுகளின் சரியான அமைப்பு வானநூல் அறிஞருக்கு ஏராளமான தகவல்களைக் கொடுக்கின்றது. சாதகமான நிலைகளில் இஃது ஒரு விண்மீனின் வளிமண்டலத்தின் வெப்பநிலை (அதிகாரம் 4), அடர்த்தி (அதிகாரம் 3), இயைபுக் கூட்டு இவைகளைப் பற்றித் தெரிவிக்கின்றது. இதைத் தவிர, விண்மீனின் தூரம், மற்றும் எந்த வேகத்தில் அதன் தூரம் குறைகிறது அல்லது அதிகமாகின்றது, இன்னும் அதன் எடை, எந்த வேகத்தில் அது சுழல்கிறது (பக்கம் 40) என்பனபற்றியும் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

விண்மீன்களின் இயைபுக் கூட்டுகள்

சோடியம் அல்லது கால்சியம் என்ற எளிய இயைபுப் பொருள்களிலிருந்து வரும் ஒளியை நிறமாலைச் சோதனை செய்தால் அதன் நிறமாலை ஒரு தொடர்ந்த ஒளிக் கூட்டாகக் காணப்படுவதில்லை. இதன் நிறங்கள் பலவகைப்பட்டதாய் இல்லாமல் வெளிச்சம், இருள் மாறி மாறி வரும் ஒருவித அமைப்புக் காணப்படுகிறது. ஒவ்வொரு பொருளுக்கும் இந்தமாதிரியான அமைப்பு பிரத்தியேகமாக இருப்பதால் இந்தப் படிவத்தைக்கொண்டே அந்தப் பொருள் எது என்பதை நிர்ணயித்துவிடலாம். தூரத்திலுள்ள மான்ஹைம் (Mannheim) என்ற தீயின் ஒளியை, நிறமாலைச் சோதனையாளர்களான கிர்சாஃப் (Kirchhoff), புன்ஸன் (Bunsen) என்ற இருவர் சோதனை செய்து இதில் ஸ்ட்ரான்ஷியம் (strontium) என்ற தனிமம் இருப்பதாக முடிவு செய்திருக்கின்றனர். இதிலிருந்து பின்வருமாறு வாதாடுவது எளிது. இந்த எரிபொருளின் (தூரத்திலிருக்கும்) தன்மையை ஆராய்ந்திருக்கும்பொழுது, ஞாயிறு, விண்மீன்கள் இவைகளின் பொருள்களையும் ஏன் ஆராயக்கூடாது?

இது நடக்கக்கூடிய காரியம் என்பது நிரூபிக்கப்பட்டது. விண்மீன்களின் நிறமாலைகளில் காணப்படும் கறுப்புக் கோடுகள் அதன் பலவகை இயைபுத் தனிமங்களின் பிரத்தியேக இயல்புகளுக்கேற்ப அமைந்திருக்கின்றன. ஒளிப்படம் XV-ல் காட்டப்பட்டிருக்கும் நிறமாலைகளில் ஹீலியம், ஹைட்ரஜன், கால்சியம், இரும்பு இவைகளுக்

கான பிரத்தியேகக் கோடுகள் காணப்படுகின்றன. சர் வில்லியம் ஹக்கின்ஸ் (Sir William Huggins) என்பவர், ஏற்கெனவே, 1862ஆம் ஆண்டில் சுமார் 40 விண்மீன்களின் நிறமாலை அமைப்புகளைக் கண்டு அவைகளில் இயைபுப் பொருள்களின் இருப்பைப்பற்றிக் கண்டறிந்தார். இத்தாலிய வானநூல் அறிஞரான செச்சி (Secchi) என்பவர் சுமார் 4,000 விண்மீன்களின் நிறமாலைகளைக் கண்டறிந்து அவைகளைப் பலவித வகைகளாகப் பிரித்து அவைகளுக்கு I, II, III, IVஆம் வகைகள் என்று பெயரிட்டிருக்கிறார்.

இதனால் ஒரு விண்மீனின் நிறமாலையைக்கொண்டு அதன் வளி மண்டலத்தின் இயைபுக் கூட்டைப்பற்றிச் சரியானபடி அறியலாம். விண்மீனின் உட்புற அடுக்குகள் கண்டறிவதற்கு இயலாதனவாகை யால் அவற்றின் கூட்டைப்பற்றி ஒன்றும் சொல்ல முடியவில்லை. ஒரு சில விலக்குகளைத் தவிர, மொத்தத்தில் (விண்மீன்களின்) நிறமாலை களின் அமைப்பு, புவியில் காணப்படும் பொருள்களைக் காட்டுவனவாக இருப்பதால், அவைகளின் வெளி அடுக்குகள் புவியில் உள்ள தனிமங் களைக் கொண்டவை என்றுவது சொல்லலாம்.

விண்மீன்களின் இயைபுக் கூட்டுகளைப்பற்றி விரிவாகப் பின்பு காண்போம்.

நிறமாலை நேர்வேகங்கள்

ஒரு விண்மீனின் தூரம் நமக்குத் தெரிந்தால், இதிலிருந்து அது வானத்தில் செல்லும் பாதையைக்கொண்டு, அதன் திசைக்கு நேர் செங்குத்தான திசையில் அதன் வேகம் என்னவென்பதை நிர்ணயித்து விடலாம்—அதாவது நாம் பார்க்கும் திசைக்குச் செங்குத்தான திசை யில் அதன் வேகத்தை நிர்ணயித்துவிடலாம். ஆனால், இந்தத் திசை யில் அதன் வேகம் என்னவென்பதை நிர்ணயிக்க முடியாது. நம்மை நோக்கி வரும் ஒரு பொருளின் வேகத்தை நாம் அறியமுடியாது. விநாடிக்குப் பல மிலியன் மைல்கள் வேகத்தில் வரும் ஒரு விண்மீன் நமக்கு எதிராக வந்தால் அஃது அப்படியே அசையாமல் இருப்பதுபோல் காணப்படும். நிறமாலைக்காட்டி, இம்மாதிரியான நிலைகளில் விண்மீன் களின் வேகங்களை நிர்ணயிக்க வானநூல் அறிஞருக்குப் பயன்படு கின்றது. இந்த வேகத்தை நிர்ணயிக்கும் முறை பின்வருமாறு:

ஒரு விண்மீனிலிருந்து வரும் ஒளியை நிறமாலைக்காட்டியின் மூலம் ஆராய்ந்து பார்க்கும்பொழுது அதில் நிறமாலையின் பிரத்தியேகக் கோடுகள் அல்லது வரிகள் சாதாரணமான இடத்திலிருந்து இப்படியும் அப்படியுமாக விலகிக் காணப்படும். இந்தமாதிரியான விலக்கு சிவப்புக் கோட்டை நோக்கி இருந்தால் இதற்கான ஒளி சாதாரணமாக

இருப்பதைக்காட்டிலும் அதிகச் சிவப்பாக இருக்கின்றது என்பதைக் காட்டுகின்றது. சிவப்பு ஒளி அதிக அலைநீளத்தை உடையதாகையால், ஒவ்வோர் ஒளி அலையும் சாதாரணமாக உள்ளதைவிட அதிக நீளமான தாகும் என்று கொள்ளலாம்.

எல்லா ஒளிகளும் வானில் ஒரே வேகத்தில் செல்லுவதால் அலைகளில் சிலவே நம்மிடம் சேருகின்றன என்று கூறவேண்டும். இதற்குக் காரணம் நாம் விண்மீனைவிட்டு விலகிச் செல்வதனுலோ, அல்லது அது நம்மைவிட்டு விலகிச் செல்வதனுலோ அல்லது இரண்டும் சேர்ந்ததனுலோ ஆகும் என்று சொல்லலாம். எப்படியிருந்தாலும், நிறமாலையில் சிவப்பு முனையின் பக்கம் நிறமாலைக் கோடுகள் விலகியிருந்தால், நமக்கும் விண்மீனிற்கும் உள்ள தூரம் அதிகரிக்கின்றது என்று சொல்லலாம். இதேமாதிரி, வயலட் (ஊதா) முனைப்பக்கம் நிறமாலைக் கோடுகள் விலகியிருந்தால், நமக்கும் விண்மீனிற்கும் உள்ள தூரம் குறைந்து வருகிறது என்று சொல்லலாம்; சுருக்கமாகச் சொல்லப் போனுல், விண்மீன் நம்மை நோக்கி வருகின்றது எனலாம். இந்த மாதிரி, இயங்கிவரும் ஒரு பொருளின் ஒளியிற்கான நிறமாலையில் உள்ள விலகல் பொதுவாக 'டாப்ளர் விளைவு' (Doppler Effect) எனப்படும்.

இதற்கான உதாரணங்களை XVI-ஆம் ஒளிப்படத்தில் (பக்கம் 37) பார்க்கவும். இந்த ஒளிப்படத்தில் உள்ள நான்கு கோடுகளில் முதலாவதாகக் காணப்படுவது ஊதா-நீலப் பகுதிகளுக்குரியதாகும். நடுவில் உள்ளவை μ ஒரியானிஸ் (μ Orionis) என்ற விண்மீனுக்குரியதாகும். மற்றபடி மேலே உள்ள இரண்டும், கீழே உள்ள இரண்டும் ஒப்பிடுவதற்கான நிறமாலைகளாகும். இவை, புவியில் உள்ள சில பொருள்களின் சாதாரண நிலையில் உள்ள கோடுகளைக் குறிக்கும். இப்படியிருப்பதால், ஒப்பிடுவதற்கான இந்தக் கோடுகள், இந்தமாதிரியான விண்மீன் ஒன்றின் நிறமாலைக் கோடுகளில் சிலவற்றைக் குறிப்பதாகக் கொள்ளலாம்—அதாவது, விண்மீன் நம்மை நோக்கியோ, நம்மைவிட்டு அகன்றோ இல்லாமல் ஒரே நிலையில் இருக்கும்பொழுது கூர்ந்து கவனித்தால், விண்மீனின் நிறமாலை சற்று வலப்புறம் தள்ளியிருப்பதைக் காணலாம்—அதாவது சிவப்புநிற முனைப் பக்கம். இதனுல் விண்மீன் நம்மைவிட்டு அகன்று செல்லுகின்றது என்று சொல்லலாம்.

இதற்குக்கீழ் இருக்கும் கோடு, அதே விண்மீனின் நிறமாலையில், மற்றொருநாள் எடுக்கப்பட்டபோது உள்ளதாகும். முன்போலவே இப்பொழுதும் சிவப்புநிற முனைப் பக்கம் விலகி இருக்கின்றது. இப்பொழுது சற்று அதிகமாகவே இருக்கின்றது. இந்த இரண்டாவது நிறமாலைப் படம் எடுக்கும்பொழுது விண்மீன், முன்னைவிட அதிக வேகமாக அகன்று சென்றிருக்கவேண்டும்.

நிறமாலையில், கோடுகளின் விலக்கம் சரியாக நிர்ணயிக்கப்பட்ட பிறகு, அந்தப் பொருளின் வேகம், நம்மை நோக்கியோ, அல்லது நமக்கு எதிராகவோ எவ்வளவு என்பதை மிகவும் எளிய ஒரு முறையில் கணக்கிட்டு விடலாம். உதாரணமாக, ஒரு விண்மீனின் நிறமாலையில் ஒவ்வொரு கோடும், அல்லது வரியும், சாதாரண அளவைவிட 1 சதவீதத்தில் 100-ல் ஒரு பங்கு அதிக நீளமுடைய அலைநீளத்தைக் குறிக்குமானல், அந்த விண்மீன் நம்மைவிட்டு, ஒளியின் வேகத்தில் 1 சதவீதத்தில் 100-ல் ஒரு பங்கு வேகத்துடன், அதாவது ஒரு விநாடிக்கு 18·6 மைல்கள் வேகத்துடன் அகன்று செல்லும்—இதேமாதிரிதான் மற்ற விலக்கங்களுக்குமாகும்.

நிறமாலைச் சுழற்சி

ஞாயிற்றின் மேற்புறத்தில் காணப்படும் ஞாயிற்றுக் கறைகளின் இயக்கத்தைக் கண்டறிந்தால், ஞாயிற்றின் வளிமண்டலம், ஞாயிற்றின் மத்தியதளக் கோட்டின் அருகில், 24¾ நாட்களுக்கு ஒரு முறை முற்றிலும் சுழல்கின்றது என்று தெரிகிறது. ஞாயிற்றின் மட்டதளத்தில் உள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியும் ஞாயிற்றின் மையத்தைச் சுற்றிச் சுமார் விநாடிக்கு 6000 அடிகள் வேகத்தில் சுற்றுகிறது. இப்படியானல், ஞாயிற்றின் மட்டதளத்தின் மேற்குமுனைப் புள்ளிகள் நம்மைவிட்டு விநாடிக்கு 6000 அடிகள் வேகத்தில் தள்ளிச் செல்கின்றன. அதே நேரத்தில் கிழக்குமுனைப் புள்ளிகள் அதே வேகத்தில் நம்மை நோக்கி வரும். ஞாயிறு அப்படியே அசையாமலிருந்தால் அதன் நிறமாலை, ஒரு விண்மீனின் (இந்த வகையைச் சேர்ந்த) நிறமாலையை ஒத்திருக்கும். உண்மையில் ஞாயிற்றின் மேற்புற ஒளியின் நிறமாலையில் ஒரு பாதி சிவப்புமுனைப் பகுதிப் பக்கமும் மற்றொரு பாதி இதற்கு எதிர்த்த முனைப் பக்கமும் தள்ளிக் காணப்படும். ஆகையினல், சாதாரண நிறமாலையின் ஒவ்வொரு வரியும் கருதக்கூடிய அளவு விரிந்து காணப்படும். மேற்சொன்ன முறையைத் தவிர, ஞாயிற்றின் சுழற்சியைக்காண வேறொரு முறையும் இல்லாதபோழ்து, இந்த விரிவுற்ற கோடுகளின் அகலங்களைக் கொண்டு ஞாயிற்று மத்தியதளக் கோட்டின்மேல் உள்ள புள்ளிகளின் வேகத்தையும், இதைக்கொண்டு ஞாயிற்றின் சுழற்சி வேகத்தையும் கண்டுபிடித்துவிடலாம்.

சமீப காலம் வரையில் இந்த முறையைக்கொண்டுதான், ஞாயிற்றைத் தவிர இதர விண்மீன்களின் சுழற்சி வேகங்களை நிர்ணயித்தார்கள். அதனல், அநேக விண்மீன்களின் மத்திய தளத்தின் வேகங்களைக் கூறிவிடலாம். விண்மீன்களின் பரிமாணங்களையும் எப்படி நிர்ணயிப்பது என்பதுபற்றிப் பின்பு பார்ப்போம். இவைகளைக் கண்டுபிடித்துவிட்டால் விண்மீன்களின் சுழற்சிக் காலத்தைக் கணக்கிடுவது எளிதாகும்.

ஒளிப்படத் திருப்பம்

நாம் இன்னும், வானநூலில் ஓர் அடையாளச் சின்னம் எடுத்துக் கொள்ளலாம் என்ருல் அது பத்தொன்பதாம் நூற்ருண்டின் இறுதியில் ஒளிப்படத்தின் பயன்களேயாகும் எனலாம். இதனுல் வானநூலில் தொலைநோக்கி கண்டுபிடிக்கப்பட்ட நாள் முதல் ஆராய்ச்சி பெருமளவில் முன்னேறியிருக்கின்றது என்று சொல்லலாம். இதுவரை தொலைநோக்கி விண்மீனிலிருந்து வரும் ஒளியை ஒன்ருகத் திரட்டி அவைகளை வளைத்து நம் கண்களில் உள்ள விழித்திரையினுள் (retina) புகுத்தியது. எதிர்காலத்தில் இந்த ஒளியை மிகவும் உணர்ச்சிமிக்க ஒளிப்படத் தகடுகளின்மேல் விழச்செய்யும். நம் கண்ணில் ஏற்படும் உருவம் ஒரு விநாடிதான் நிற்கும். ஆனுல், ஒளிப்படத் தகட்டின்மேல் விழும் உருவம் மணிக்கணக்கிலும், நாட்கணக்கிலும் சேகரிக்கப்பட்டு எப்பொழுதும் காணக்கூடிய ஒரு சித்திரமாக அமையும். நம் கண், வானப் பொருள்களின் தூரங்களை நுண்ணிய கருவிகளான குறுக்குக் கம்பிகள், திருகுகள், வர்னியர்கள் (verniers) இவைகளைக்கொண்டுதான் அளக்கமுடியும். ஒளிப்படத் தகடுகள் இந்த தூரங்களைத் தாமாகவே பதிவு செய்துவிடும். நம் கண், முன்கூட்டியேயுள்ள கருத்துகளினுலோ, பொறுமையற்ற காரணத்தினுலோ, அல்லது நம்பிக்கையினுலோ எந்தவிதத் தவற்றையும் செய்துவிடலாம். ஆனுல், கேமரா தவறு செய்யாது.

இருபதாம் நூற்ருண்டில் வானநூலில் முக்கிய நிகழ்ச்சிகளைத் தேர்ந்தெடுக்கவேண்டும். ஏனென்ருல், அதில் முக்கிய நிகழ்ச்சிகள் நிறைந்துள்ளன. பத்தொன்பதாம் நூற்ருண்டில் மிக நிதானமாகவும் கடினமான முறையிலும் நடத்தப்பட்ட ஆராய்ச்சிகள் இதற்குப் பிற்காலத்தில் பொற்சுரங்க வேட்டையாக முடிந்தது. அதாவது, உரிமைகளைப் பந்தயம் வைத்து மேற்புறங்களைச் சுரண்டித் தெளிவாகக் காணக்கூடிய பொற்கட்டிகளை எடுத்துக்கொண்டு இந்தச் சுரங்கத்தைவிட்டு மற்றும் நம்பிக்கை தரக்கூடிய சுரங்கத்தைத் தேடிச் செல்வதுபோல் ஆகும். அதாவது, எல்லா முயற்சிகளும் மிகத் துரிதமாகச் செய்யவேண்டியிருப்பதால், நிலைமைகளை விவரித்து அச்சிடுவதற்குமுன் உண்மைகள் பழமையாகிவிடுகின்றன. புதிய பிரதேசங்களைப்பற்றிப் பொதுக் கருத்துகளைத்தான் கொடுக்கமுடியும். இவைகளோடு புதியதாகக் கிடைத்த தகவல்களைக்கொண்டு பழைய பிரதேசங்களைப்பற்றிய உண்மை வாதங்களும் கலந்திருக்கும்.

விண்மீன் கூட்டங்களும் இரட்டைத் தொகுதிகளும்

வானத்தை மேலாகப் பார்க்கும்பொழுது அல்லது இதைவிடச் சிறந்ததான வானத்தின் ஒரு சிறிய பகுதியின் ஒளிப்படத்தைப் பார்த்

தால் விண்மீன்கள் மொத்தத்தில் முறையற்ற ஒரு விதத்தில் வானத்தில் பரவி இருப்பதுபோல் தோன்றும். பால் மண்டலத்திலும் இதற்கு அருகிலும் அடர்த்தியாகக் காணப்படும் மங்கலான விண்மீன்களின் குவியல் இதற்கு விதிவிலக்கு. இவைகளைப்பற்றி நாம் ஏற்கெனவே ஆராய்ந்திருக்கிறோம். வானத்தில் எந்தச் சிறிய பகுதியை எடுத்துக் கொண்டாலும், ஒரு வான மிளகுப் 'பானையிலிருந்து தாறுமாறுகத் தெளிக்கப்பட்டு அமைந்திருக்கும் வெளிச்சமானதும் மங்கலானதுமான இருவகை விண்மீன்களைப்போல் இருக்கும்.

இருந்தாலும், இது முழுக்கதை ஆகாது. இங்குமங்குமாக நன்றுகக் காணப்படும் விண்மீன்களின் கூட்டங்கள் யதேச்சையாக ஒன்று சேர்ந்திருக்கமுடியாது. 'ஒரியன் பெல்ட்' (Orion's belt), 'ப்ளீயாடீஸ்' (Pleiades), 'பெரினைஸ்ஸீன்' முடி (Berenice's hair), இன்னும் சப்தரிஷிக் கூட்டம் இவை யதேச்சையாக ஏற்பட்டவைகளாகத் தோன்றவில்லை. உண்மையில் அவை அப்படி ஏற்பட்டவை அல்ல. இந்த இயற்கையாக அமைந்த விண்மீன் கூட்டங்கள்தாம் விண்மீன்களை விண்மீன் மண்டலங்களாகப் பிரிப்பதற்கு ஆதாரமாக உள்ளன. விண்மீன்களின் பௌதிகத் தன்மைகளை எப்படிக் கண்டறியலாம் என்பதைப் பின்பு கூறுவோம்.

தற்போது பௌதிக ஆராய்ச்சியின்படி மேற்சொன்ன கூட்டங்கள் உண்மை விண்மீன் குடும்பங்கள் என்றும் இவை யதேச்சையாக ஏற்பட்டவை அல்ல என்றும் சொன்னுல் போதும். ப்ளீயாடீஸ் போன்ற கூட்டத்தில் உள்ள ஒவ்வொரு விண்மீனும் ஒரே பௌதிகத் தன்மை உடையதாக இருப்பதோடு வானவெளியில் அவற்றின் இயக்கங்களும் ஒரேமாதிரியாகத்தான் இருக்கின்றன. வானத்தில் இவை நிரந்தரமாக ஒன்றோடு ஒன்று சேர்ந்தாற்போல் பயணம் செய்கின்றன. இந்தமாதிரியான கூட்டத்தின் விண்மீன்கள் ஒரே பௌதிகத் தன்மை உடையதாகவும் ஒன்றுகப் பயணம் செய்வனவாகவும் இருப்பதால் இவைகளை விண்மீன்களின் குடும்பம் என்று சொல்வது பொருத்தமே ஆகும். ஆனுல், வானநூல் அறிஞர் இவற்றை 'இயங்கும் கொத்து' என்று அழைக்கின்றனர். இந்தக் குடும்பங்கள் கிட்டத்தட்ட எல்லாப் பரிமாணங்களிலும் இருக்கின்றன. மிகச் சிறியனவும் பொதுவாகக் காணப்படுவனவுமான வகையைச் சேர்ந்தவை இரண்டு விண்மீன்களைக் கொண்டவையாகும். இதற்கு அடுத்தபடியாகப் பொதுவாகக் காணப்படுவது மூன்று விண்மீன்களை உடையதாகும். நமக்கு மிக அருகில் வானத்திலுள்ள மூன்று விண்மீன்கள், ப்ராக்ஸிமா ஸென்டாரி என்ற விண்மீனும் ∝ ஸென்டாரி என்ற இரண்டு விண்மீன்களும் இந்த வகையைச் சேர்ந்தவை. இதற்கும் அடுத்தாற்போல் உள்ளவை நான்கு, ஐந்து, ஆறு விண்மீன்களைக்கொண்ட தொகுதிகளும் இன்னும் அதிக விண்மீன்களைக்கொண்ட தொகுதிகளுமாகும்.

இரண்டு விண்மீன்களைக்கொண்ட குடும்பங்களைப்பற்றி முதலில் கவனிப்போம். ஒரு மிளகுப் பானையிலிருந்து விண்மீன்கள் வானத்தில் நினைத்தபடி தெறிக்கப்பட்டிருந்தாலும் வாய்ப்பு விதிகளின்படி (Laws of change) இவைகளில் சில இரட்டை விண்மீன்களாகிலும் சேர்ந்தாற் போல் காணப்படவேண்டும். விண்மீன் வெளியைப்பற்றிய எந்த ஒளிப் படமும் இந்தமாதிரியான நெருங்கியுள்ள இரட்டை விண்மீன்கள் அநேகம் இருக்கின்றன என்பதைக் காட்டுகின்றது. ஆனால், வாய்ப்பு விதிகளின்படி விளக்கக்கூடிய எண்ணிக்கைக்கு மேலாகவே அநேக இரட்டை விண்மீன்கள் இருக்கின்றன. நாம் காண்பதற்குச் சேர்ந் தாற்போலிருக்கும் சில விண்மீன்களின் அமைப்பு யதேச்சையாக இருந் தாலும் மற்ற விண்மீன்களின் இரட்டை அமைப்புக்கு ஒரு பௌதிகக் காரணம் வேண்டும். இந்த மர்மத்தை இந்த விண்மீன்களின் ஒளியை வருடாந்திர இடைவேளைகளில் ஒளிப்படமாக்கி அதிலிருந்து ஒப்பனை மூலம் தெரிந்துகொள்ளலாம். முதலில் சேர்ந்தாற்போல் இருந்த விண்மீன்கள் நாளடைவில் பிரிந்துவிடுகின்றன. இந்த விண்மீன்கள் வானத்தில் ஒன்றுயிருப்பதுபோல் காணப்பட்டாலும் வானவெளியில் ஒன்றாக இல்லை. ஒரு விண்மீன் புவியிலிருந்து பார்க்கும்பொழுது மற்றொரு விண்மீனுக்கு நேராக இருந்ததால் இவ்வாறு காணப்பட்டது. மற்ற இரட்டை விண்மீன்கள் நாளடைவிலும் பிரியாமல் இருக்கின்றன. இரண்டு விண்மீன்களும் அவைகளின் சார்பு நிலைகளை மாற்றியிருப் பினும் முற்றிலும் பிரியாமலே இருக்கின்றன. ஒவ்வொரு விண்மீனும் மற்றொரு விண்மீனை, புவி, ஞாயிற்றைச் சுற்றுவதுபோலும், சந்திரன், புவியைச் சுற்றுவதுபோலும் சுற்றிவருகின்றன. இதற்குக் காரணம் ஒன்றேதான். ஈர்ப்புவிசை இவைகளை ஒன்றாக வைத்திருக்கிறது. இரண்டு விண்மீன்கள் இவ்வாறு சேர்ந்து இருப்பது இரட்டை விண்மீன்கள் அல்லது இணை மீன்கள் எனப்படும். இவை வானத்தில் எந்தவிதத்திலும் யதேச்சையாகவும் அரியதாகவும் ஏற்பட்டவை அல்ல. க்யுபர் (Kuiper) என்பவர் விண்மீன்களில் ஞாயிற்றைவிட அதிகப் பொருண்மையுடைய விண்மீன்களில் 68 சதவீதம் இந்த வகையைச் சேர்ந்தவையே என்று கணக்கிட்டிருக்கிறார்.

ஈர்ப்பு ஆற்றல் விதி

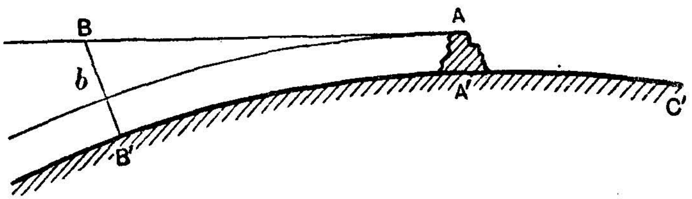
ஒரு கிரிக்கெட் பந்தை உன் கையிலிருந்து நழுவச் செய்தால் அது தரையில் விழுகின்றது. இதற்குக் காரணம் புவியின் ஈர்ப்பு ஆற்றல் என்று சொல்கிறோம். இதேமாதிரி மேலே ஒரு பந்தை வீசி எறிந்தால் அஃது அதேதிசையில் சென்றுகொண்டே இருக்காது. அஃது அப்படிச் செய்தால் புவியைவிட்டு வானவெளியில் பிரயாணம் செய்யும். இம் மாதிரி நடக்காமல் புவியின் ஈர்ப்பு ஆற்றலானது இதைக் கீழே கொண்டுவந்துவிடுகிறது. ஆகையினால், புவிக்கே வந்துவிடுகிறது.

நாம் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு அதிக வேகத்துடன் வீசி எறிகிருேமோ அவ்வளவு அதிக தூரம் மேல்நோக்கிச் செல்லும். இதேமாதிரி ஒரு துப்பாக்கியிலிருந்து வீசப்படும் பந்து புவியை நோக்கி வருவதற்கு முன் மேல்நோக்கியே பல மைல்கள் சென்றுவிடும்.

இந்த நிகழ்ச்சிக்குக் காரணம் மிகவும் எளியதே. புவியின் ஈர்ப்பு ஆற்றல் எல்லாப் பொருள்களையும் விநுடிக்கு 16 அடி வீதம் புவியை நோக்கி விழச்செய்கிறது. இஃது ஒரு தடையுமின்றி'விழக்கூடிய எல்லாப் பொருள்களுக்கும் ஏற்படும். ஒருவிதத்திலும் ஈர்ப்பு ஆற்றலுக்கு எதிராகத் தடுக்கப்படாமல் இருக்கும் ஒவ்வொரு பொருளும் ஒரு நொடியில் 16 அடி கீழே விழச் செய்யும்.

இதை விளக்க மூன்ரும் படத்தில் வரையப்பட்டிருக்கும் $B'A'C'$ என்ற வட்டக்கோடு புவியின் மேற்புறத்தைக் குறிப்பதாக வைப்போம். A' என்ற புள்ளிக்கு மேலாக இருக்கும் A என்ற புள்ளியிலிருந்து கிடைமட்ட திசையில் ஒரு துப்பாக்கி குண்டை வீசினுல், இது புவியினுல் இழுக்கப்படாமல் இருந்தால், AB என்ற கோட்டிலே வானவெளியில் முடிவில்லாமல் பிரயாணம் செய்யும். ஒரு நொடியில் இஃது இவ்வாறு செல்லும் தூரம் AB என்று வைத்தால், உண்மையில் இது B-ல் இருக்க வேண்டும். ஆனுல், இஃது அப்படி இல்லை. புவியிலிருந்து 16 அடி தூரம் அண்மையில் வந்துவிடுகிறது. ஏனென்ருல், புவியின் ஈர்ப்பு விசை உயரத்தில் இதை 16 அடி கீழே இழுத்துவிடுகிறது. உதாரணமாக, 3ஆம் படத்தில் BB' என்பது 16 அடியாக இருந்தால் ஒரு நொடிக்குப் பிறகு அந்த குண்டு புவியில் B' என்ற இடத்தில் பாயும்.

மற்ருேர் உதாரணமாக அந்த குண்டு b என்ற புள்ளிக்கு இழுக்கப் பட்டதாக வைப்போம். அஃதாவது அப்பொழுது அதன் உயரம் A-ன் உயரத்தைப்போலவே இருக்கும். ஈர்ப்பு ஆற்றல் இல்லாமல் AB



படம் 3.

என்ற கோட்டிலேயே அது செல்வதாக வைத்தால் அதன் உயரம் போகப்போக அதிகரித்துக்கொண்டே போகும். உண்மையில் நாம் எடுத்துக்கொண்ட உதாரணத்தில் ஈர்ப்பு ஆற்றல் குண்டின் உயரம்

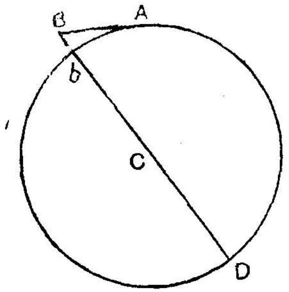
குறையாமலே இருக்கச் செய்யும். ஆகையினால், அந்த குண்டு வான வெளியில் சென்றுவிடாமல் புவியைச் சுற்றிச்சுற்றி வரும்.

ஓர் எளிய ஜியோமிதி கணக்குப்படி Bb 16 அடியாக இருக்க வேண்டுமானால் ஒரு நொடியில் செல்லக்கூடிய தூரம் AB 25,880 அடி அல்லது 4·90 மைல்களாகும்.[1] ஒரு குண்டை ஒரு நொடிக்கு 4·90 மைல்கள் வேகத்தில் கிடைமட்ட திசையில் வீசினால் அது புவியைச் சுற்றி வட்டப்பாதையில் சென்றுகொண்டே இருக்கும். புவியின் ஈர்ப்பு ஆற்றல் அது AB என்ற கோட்டில் செல்லவிடாமல் தவிர்க்கும்.

1665-ல் நியூடன் என்பவர் இதே ஈர்ப்பு ஆற்றல்தான் சந்திரனைப் புவியைச் சுற்றிவரச் செய்கிறது என்று நினைத்தார். புவியின் மத்தியிலிருந்து சந்திரனின் தூரம் 2,38,900 மைல்களாகும். அதாவது புவியின் அரைவிட்டத்தைப்போல் 60·27 மடங்காகும். சந்திரன் மாதத்திற்கு (27 நாட்கள், 4 மணி, 43 நிமிடங்கள், 11·5 நொடி) ஒருமுறைப் புவியைச் சுற்றி வட்டப்பாதையில் செல்லும்பொழுது அதன் வேகம் மணிக்கு 2,300 மைல்கள் ஆகும்.

ஒரு நொடிக்கு இது 3,370 அடி செல்லும். இஃது ஒரு நேர்ப் பாதையில் சென்றால் புவியைவிட்டு 0·0044 அடி அகன்று செல்லும். இது புவியின் மேற்புறத்தில் நொடிக்கு 16 அடி வீதம் செல்லும் தூரத்தைக் காட்டிலும் மிகக் குறைவு. ஆனால், புவியைவிட்டுச் செல்லச்

[1] புவியின் மையம் C என்று வைப்போம். bCD என்பது b இன் வழியே செல்லும் விட்டம் என்று வைப்போம். அப்பொழுது $BA^2 = Bb \times BD$, $Bb = 16$ அடி. புவியின் விட்டத்தைக் காட்டிலும் 16 அடி அதிகமுள்ள BD என்பது 41,900,000 அடிகளாகும்.



படம் 4.

இதிலிருந்து $BA = 25,880$ அடி. இந்தக் கணக்கில் குன்றின் உயரம் AA' புவியின் விட்டத்தைக் காட்டிலும் மிகச் சிறியதாகையினால் தள்ளுபடி செய்யப் பட்டது.

செல்ல ஈர்ப்பு ஆற்றல் பலவீனமடையும் என்று நியூடன் எண்ணினார். உண்மையாகவே, புவியின் மேற்புறத்திலிருந்து ஒரு பொருள், சந்திரன் ஒரு நொடியில் புவியை நோக்கி வரும் தூரத்தைக்காட்டிலும் 3632 மடங்கு தூரத்தைக் கடக்கும். 3632 என்பது 60·27-ன் இரண்டாம் அடுக்காகும் (3632 = 60·27 × 60·27). ஆகையினால், சந்திரனின் பிரயாண தூரம், ஈர்ப்பு ஆற்றல் தூரத்தின் இரண்டாம் அடுக்கின் தலைகீழ் பின்னமாகும் (inverse square of distance) என்ற விதிப்படி சரியானதே என்று நினைத்தார். அதாவது தூரத்தின் இரண்டாம் மடங்கு அதிகரிக்க அதற்கேற்ப ஈர்ப்பு ஆற்றல் குறையும் என்பதாகும். வானநூல் ஆராய்ச்சியின்படி இது பலவகைகளில் உண்மை என்பதைப் பற்றிப் பின்பு காண்போம். இதைக்கொண்டுதான் நியூடன் மிகப் புகழ்பெற்ற ஈர்ப்பு ஆற்றல் விதியைத் தெரிவித்தார். அதாவது புவியைப் போன்ற எந்தப் பொருளின் ஈர்ப்பு ஆற்றலும் தூரத்தின் இரண்டாம் அடுக்கின் தலைகீழ் பின்னத்திற்கு ஏற்பக் குறையும்.

புவி, அதன் மேல்புறத்திலுள்ள ஒரு பொருளை, அந்தப் பொருளின் பொருண்மையின் நேர்விகிதத்தின்படி இழுக்கும். உதாரணமாக, இரண்டு டன்கள் எடையுள்ள ஒரு பொருளை, ஒரு டன் எடையுள்ள பொருளை இழுக்கும் ஆற்றலைப்போல் இரண்டு மடங்கு ஆற்றலுடன் இழுக்கும். 'ஆனால், இந்த ஆற்றல் புவியின் பொருண்மையையும் சார்ந்திருப்பதால் புவியின் பொருண்மை பாதியாகிவிட்டால் இந்த ஆற்றலும் பாதியாகிவிடும்.

பல ஆராய்ச்சியாளர்கள் சோதனைக்கூடத்தில் ஒரு டன் ஈயம் எவ்வளவு ஈர்ப்பு ஆற்றல் கொண்டுள்ளது என்பதை அளந்திருக்கிறார்கள். இந்த ஆராய்ச்சியைக்கொண்டு புவி எவ்வளவு பொருண்மையுடையதாக இருக்கவேண்டும் என்பதை எளிதில் கணக்கிடலாம். புவியின் பொருண்மை சுமார் ஆறுயிரம் மிலியன் மிலியன் மிலியன் டன்கள் [1] ஆகும். அதாவது 6×10^{21} டன்கள் ஆகும்.[2]

[1] இங்கும், இந்தப் புத்தகத்தின் மற்ற இடங்களிலும் ஒவ்வொரு மிலியன் கிராமுகளடங்கிய மெட்ரிக் டன் அல்லது ஃபிரெஞ்சு (French) டன் எடையைப் பயன்படுத்துகிறோம். அதாவது 2204·5 பவுண்டுகளாகும். 2240 பவுண்டுகள் கொண்ட ஆங்கில டன் 1·0160 ஃபிரெஞ்சு டன்களுக்குச் சமம்.

[2] 6×10^{21} என்ற இலக்கக் குறி 6 என்ற எண்ணின் பக்கத்தில் 21 பூஜ்யங்கள் சேர்த்தால் கிடைக்கும் எண்ணைக் குறிக்கும். இந்தச் சுருக்கமான இலக்கக் குறி வானநூல் எண்களைச் சுருக்க முறையில் சொல்வதற்கு மிகவும் அவசியமாகும். ஒரு மிலியன் என்பது 10^6, ஒரு மிலியன் மிலியன் என்பது 10^{12}, இப்படியே.

இதேமாதிரி மிகச் சிறிய எண்களைக் குறிக்கவும் ஓர் இலக்கக் குறி வேண்டும். 10^{-21} என்பது $\frac{1}{10^{21}}$ஐக் குறிக்கும். இதேமாதிரி 6×10^{-6} என்பது $\frac{6}{1,000,000}$ அல்லது 0·000006-ஐக் குறிக்கும்.

புவியின் ஈர்ப்பு ஆற்றல் எப்படிச் சந்திரனை ஒரு வட்டப்பாதையில் செலுத்துகிறதோ அதைப்போல் ஞாயிற்றின் ஈர்ப்பு ஆற்றல் புவியையும் மற்றக் கோள்களையும் வட்டப் பாதையில் அல்லது கிட்டத்தட்ட வட்டப் பாதையில் செலுத்துகிறது. ஞாயிற்றிலிருந்து ஒரு கோளின் தூரத்தையும் அந்தக் கோளின் சுற்றுப்பாதை வேகத்தையும் தெரிந்து கொண்டால், ஒரு நொடியில் எவ்வளவு தூரம் ஞாயிற்றை நோக்கி அந்தக் கோள் நகருகிறது என்பதைக் கணக்கிட்டுவிடலாம். இதி லிருந்து ஞாயிற்றின் ஈர்ப்பு ஆற்றலையும் அதிலிருந்து அதன் பொருண்மை புவியினதைப்போல் 332,000 மடங்காகும், அல்லது கிட்டத்தட்ட 2×10^{27} டன்கள் ஆகும் என்று கணக்கிட்டுவிடலாம். எந்தக் கோளை எடுத்துக் கணக்கிட்டாலும் ஞாயிற்றின் பொருண்மை இதே அளவுதான். இது நம்முடைய முடிவைச் சரி என்று காட்டுவ துடன் ஈர்ப்பு ஆற்றல் விதியையும் ஊர்ஜிதப்படுத்துகிறது. ஏனென்றால், இந்த விதி சரியில்லை என்றால் எல்லாக் கோடுகளும் ஞாயிற்றின் எடையை ஒரே அளவாகக் காட்டாது. தொடர்புக் கோட்பாடு (theory of relativity) மேற்சொன்ன விதியை முற்றிலும் சரியில்லை என்றும், ஆனால், நமக்கு வேண்டிய அளவில் சரியே என்றும் காண்பிக் கிறது. மிகவும் அருகிலுள்ள புதன் என்ற கோளைத்தவிர மற்ற எல்லாக் கோள்களுக்கும் ஈர்ப்பு ஆற்றல் விதி ஏறக்குறைய சரியானதே. ஞாயிறு புவி இவைகளின் எடைகளை இவை இழுக்கும் பொருளின் இயக்கத்தைக் கொண்டு—அதாவது கணக்கறிஞர் சொல்வதுபோல் இவைகளின் ஈர்ப்பு ஆற்றல் வெளியிலுள்ள பொருள்களைக்கொண்டு—இவைகளின் எடை களைக் கண்டுபிடிப்பதுபோலவே மற்ற எந்தப் பொருளின் எடையையும் அதைச் சுற்றிவரும் பொருளின் இயக்கத்திலிருந்து கண்டுபிடித்து விடலாம். உதாரணமாக, வியாழனின் துணைக் கோள்களின் இயக்கங் களிலிருந்து வியாழனின் பொருண்மை ஏறக்குறைய $1 \cdot 92 \times 10^{24}$ டன்கள் ஆகும். இது புவியின் பொருண்மையைவிட 317 மடங்குகளாகும். ஞாயிற்றின் பொருண்மையில் $\frac{1}{1047}$ மடங்குகளாகும். இதைப்போல் சனியின் பொருண்மை $5 \cdot 71 \times 10^{23}$ டன்களாகும்; அல்லது புவியைப் போல் 94·9 மடங்குகளாகும்.

விண்மீன்களின் எடைகளைக் கண்டுபிடித்தல்

மேற்சொன்ன விதிகளை எப்படிப் பயன்படுத்தலாம் என்பதைப் பார்ப்போம். இரண்டு விண்மீன்கள் ஒன்றையொன்று சுற்றிவந்தால் அவைகளின் சுற்றுப் பாதைகளிலிருந்து அவைகளின் எடைகளை நிர்ணயிக்கலாம். ஆனால், பொதுவாக இந்தப் பிரச்சினை மேற் சொன்னதுபோல் அவ்வளவு எளிதன்று. இதற்கு மறுபடியும் நியூடனின் கணக்கு ஆராய்ச்சியைப் பயன்படுத்தவேண்டும்.

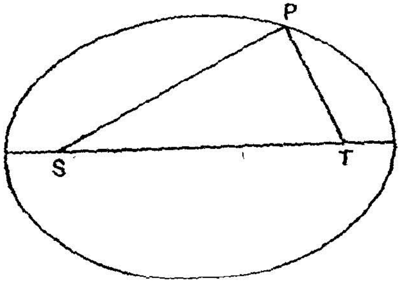
கிடைநிலையாக வீசப்பட்ட ஓர் எறிபொருள் நொடிக்கு 4·90 மைல்கள் வேகத்தையுடையதானால் அது பூமியைச் சுற்றி முடிவில்லாத வட்டப் பாதையில் சென்றுகொண்டிருக்கும். இப்படியன்றி வேறு திசையில் வேறு வேகத்தோடு ஒரு பொருள் எறியப்பட்டால் என்ன நேரும்?

ஒரு பெரிய பொருளின் ஈர்ப்பு ஆற்றலினால் பாதிக்கப்பட்டு மற்றொரு சிறிய பொருள் அதைச் சுற்றி வருமேயானால் அதன் வேகம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுக்குமேல் அதிகரித்தால் இந்தப் பாதையைவிட்டு வெளியேறிவிடும். இப்படி அது செல்லும் பாதை ஹைபர்போலா (hyperbola) என்ற வளைகோடாகும். அதன் வேகம் மேற்சொன்ன குறிப்பிட்ட அளவுக்குக் குறைந்திருந்தால், அதன் சுற்றுப்பாதை நீள் வட்டம் (ellipse) ஆகும். இஃது இழுக்கப்பட்ட ஒரு வட்டம் அல்லது தட்டையான வளைகோடு (oval curve)[1] (படம் 5). பல வருடங்களுக்கு முன் நியூடன் இதை நிரூபித்தார். கெப்ளர் என்பவர் கோள்களின் உண்மைப் பாதைகள் சரியான வட்டங்கள் அல்ல என்றும், இவை நீள் வட்டங்களாகும் என்றும் கண்டுபிடித்தார். அநேகமாக இவை கிட்டத் தட்ட வட்டங்களாகவே இருந்தன. அதாவது, மிகச் சிறிய 'எக்ஸன்ட்ரிஸிடி' உடைய நீள்வட்டங்கள் ஆகும். நியூடனின் விதிப் படி கோள்கள் நகரவில்லை என்றால் அவைகளின் சுற்றுப் பாதைகள் நீள்வட்டங்களாக இருக்காது. ஆகையினால், கெப்ளர் கண்ட உண்மைகள் நியூடனின் ஈர்ப்பு ஆற்றல் விதிக்கு ஓர் ஆதாரமாயின.

[1] ஒரு நீள்வட்டம் வரையப்படும் விதம் பின்வருமாறு: S, T என்ற இரண்டு புள்ளிகள் எடு. P என்ற புள்ளி S, T என்ற புள்ளிகளிலிருந்து SP, ST என்ற தூரத்தில் இருக்கிறது. SP-ம் ST-ம் சேர்ந்து ஒரே அளவில் இருக்கும் படி P நகர்ந்தால் நீள்வட்டம் அமையும். ஒரு சித்திரப் பலகையில் (drawing board) S, T என்ற இரண்டு இடங்களில் இரண்டு குண்டூசிகளைக் குத்தி இவை களைச் சுற்றி $SPTS$ என்ற வகையில் ஒரு நூலைக் கொடுத்து ஒரு பென்சிலினால் இந்த நூலை இறுக்கிப் பிடித்து ஒரு கோட்டை வரைந்தால் நீள்வட்டம் கிடைக்கும். இந்த ஊசிகள் S, T இரண்டும் சற்று அருகிலிருந்தால் P-யினால் வரையப்பட்ட கோடு கிட்டத்தட்ட ஒரு வட்டமாக இருக்கும். ST-க்கும், நூலின் மற்றொரு பகுதியான $SP+PT$-க்கும் உள்ள விகிதம் 'எக்ஸன்ட்ரிஸிடி' (eccentricity) எனப்படும். இஃது ஒன்றிற்குக் குறைந்ததாகும். ஏனென்றால், ஒரு முக் கோணத்தின் இரண்டு பக்கங்களின் கூட்டுத்தொகை மூன்றாவது பக்கத்தைவிட அதிகமாகும்.

'எக்ஸன்ட்ரிஸிடி' பூஜ்யமாகிவிட்டால் நீள்வட்டம் ஒரு வட்டமாகிவிடும். கிட்டத்தட்ட எண்ணிக்கையில் ஒன்றாக (unity) இருந்தால் இந்த நீள்வட்டம் மிகவும் நீண்டதாக இருக்கும். 'எக்ஸன்ட்ரிஸிடி' 0-லிருந்து 1 வரையில் மாறிக் கொண்டே போனால் இந்த நீள்வட்டத்தின் உருவமும் மாறிக்கொண்டே போகும். இஃது ஒரு பெரிய பொருளைச் சுற்றிச் சிறிய பொருள் நகரும்பொழுது அதன் சுற்றுப் பாதைகளின் பலவித அமைப்புகளைக் குறிக்கும். S, T புள்ளிகள் நீள்வட்டத்தின் முகப்புகளாகும் (focus). பெரிய பொருள் இந்த இரண்டு முகப்புகளின் ஏதாவது ஒரு முகப்பில் இருக்கும்.

ஓர் இரட்டை விண்மீன்களின் இயக்கத்தை வானநூல் அறிஞர் ஆராயும்பொழுது இந்த இரண்டு விண்மீன்களும் ஒன்றைச் சுற்றி ஒன்று ஒரு நீள்வட்டப் பாதையில் செல்லுகின்றன என்றும் வட்டப் பாதையில் அல்ல என்றும் காண்கிறார்.[1] மறுபடியும் நியூடனின் விதிக்கு இஃது ஓர் ஆதாரம் ஆயிற்று. ஆகையினால், சந்திரனைப் புவியை விட்டுச் செல்லாமல் தடுக்கும் ஈர்ப்பு ஆற்றலும், கோள்களை ஞாயிற்றை விட்டுப் போகாமல் தடுக்கும் ஈர்ப்பு ஆற்றலும், இரட்டை விண்மீன்களை ஒன்றை ஒன்று விட்டுப் பிரியாமல் வைத்திருக்கும் ஈர்ப்பு ஆற்றலும் ஒன்றேதான் என்று சொல்லலாம். இதை வைத்து விண்மீன்களின் எடைகளை நிர்ணயிக்கலாம்.



படம் 5.

தட்டையான வளைகோடு நீள்வட்டம் ஆகும். *S*, *T* என்ற புள்ளிகள் முகப்புகள் ஆகும்.

இரண்டு உறுப்புகளில் ஒன்று மற்றொன்றைவிட மிகப் பெரியதாயிருந்தால், சிறிய விண்மீன் பெரிய விண்மீனைச் சுற்றி ஒரு நீள்வட்டப் பாதையில் செல்லும். இஃது ஒரு கோள் ஞாயிற்றைச் சுற்றுவதைப் போல் ஆகும். உண்மையில் ஓர் இரட்டை விண்மீன் அமைப்பில் இரண்டு உறுப்புகளும் கிட்டத்தட்ட சரியான எடை உடையதாக இருக்கும். இதனால் இந்தப் பிரச்சினை இன்னும் சிக்கலாகிவிடுகின்றது. இதைப்பற்றிக் கணக்கு முறையில் இப்பொழுது ஆராயவேண்டாம். இரண்டு விண்மீன்களும் நகர்வதன்றி, இவை ஒன்றை ஒன்று நீள்வட்டப் பாதையில் சுற்றி வருகின்றன. இவை வெவ்வேறு அளவுள்ள நீள்வட்டங்களாகும். இதைக்கொண்டு இவைகளின் எடைகளைக் கண்டுபிடித்துவிடலாம். கீழே கொடுக்கப்பட்ட அட்டவணையில் முதல் மூன்று பத்திகளும் நான்கு இரட்டை விண்மீன்களின் (ஞாயிற்றுக்கு

[1] அவர் உண்மையில் பார்ப்பது என்னவென்றால் வானத்தில் சுற்றுப் பாதையின் நிழற்படிவம் (projection) ஆகும். ஆனால், ஒரு ஜியோமிதியின் தேற்றத்தின்படி ஒரு நீள்வட்டத்தின் நிழற்படிவம் ஒரு நீள்வட்டமேயாகும்.

மிக அருகிலுள்ள) எடைகளைக் காண்பிக்கின்றன. ஞாயிற்றின் எடையை அலகாக வைத்து அவை தரப்பட்டுள்ளன.

விண்மீன்களின் எடைகள்
ஞாயிற்றுக்கு அருகிலுள்ள விண்மீன்கள்

விண்மீன்	ஞாயிற்றிலிருந்து ஒளி ஆண்டுகளில் அதன் தூரம்	உறுப்புகளின் எடைகள் : ஞாயிற்றுடன் ஒப்பிடும் வகையில்	வெளிச்ச அளவு
α செண்டாரி *A*	4·31	1·10	1·14
,, *B*		0·89	0·32
ஸீரியஸ் *A*	8·65	2·35	24
,, *B*		0·98	0·0024
ப்ரோஸீயான் *A*	10·5	1·48	6·6
,, *B*		0·46	0·0005
க்ரூகர் 60 *A*	12·7	0·27	0·0015
,, *B*		0·14	0·0004

இந்த விண்மீன்களின் பொருண்மைகள் ஞாயிற்றின் பொருண்மையைக் காட்டிலும் அதிக ஏற்றக் குறைவு இல்லாமல் இருக்கின்றன. நம்முடைய அட்டவணையில் ஞாயிற்றுக்கருகிலுள்ள விண்மீன்கள் நான்கேயாகிலும் முடிவு சரியெனலாம். ஏனென்றால், வானவெளியை மொத்தமாக எடுத்துக்கொண்டாலும் க்ரூகர் 60 *B*-யைக் காட்டிலும் குறைந்த பொருண்மையுள்ள விண்மீன்கள் இதுவரையிலும் நிச்சயமாகத் தெரியவில்லை. இதனால் இதைவிடச் சிறிய விண்மீன்கள் அதிகம் இல்லை என்று சொல்லமுடியாது. ஏனென்றால், சிறிய பொருண்மையுடைய விண்மீன்கள் மிக மங்கலாக இருக்கும். இதைக்காட்டிலும் சிறிய பொருண்மையுடையவைகள் காணமுடியவில்லை. பார்வையினால் மட்டுமின்றி விண்மீன்களை மற்றொரு விதமாகவும் கண்டுபிடிக்கலாம். யுரேனஸ் இன்னொரு கோளான நெப்டியூனின் ஆற்றல் இழுப்பினால் அதன் இயக்கத்தில் தடுமாற்றம் காட்டியதுபோல், 61 சிக்னி என்ற இரட்டை விண்மீனும் அதன் இயக்கத்தின் தடுமாற்றம் காட்டுவதால், இதுவும் மற்றொரு, நம்மால் காணமுடியாத பொருளினால் இழுக்கப்பட வேண்டும் என்று சொல்லலாம். அந்தப் பொருளின் பொருண்மை ஞாயிற்றின் பொருண்மையில் அறுபதில் ஒரு பங்காகும். இதேமாதிரி 70 ஓபியுசி (70 Ophiuchi) என்ற இரட்டை விண்மீனும் இந்தமாதிரி

யான தடுமாற்றத்தைக் காண்பிப்பதனுல் இதுவும் ஞாயிற்றின் பொருண்மையில் நூற்றில் ஒரு பங்கு உடைய ஓர் இருண்ட பொருளினுல் இழுக்கப்படவேண்டுமென்று சொல்லலாம். இந்த மாதிரியான இருண்ட பொருள்களை விண்மீன்களென்ருே கோள்களென்ருே சொல்லமுடியவில்லை. இவைகள் விண்மீன்கள் என்ருல் நமக்குத் தெரிந்தவரையில் மிகச் சிறிய பொருண்மையுடையனவாகும்.

இன்னொருபுறம், நம் அட்டவணையிலுள்ள விண்மீன்களைக்காட்டிலும் மிக அதிகப் பொருண்மைகளையுடைய விண்மீன்கள் இருக்கின்றன என்று தெரிகிறது. சரியாக நிர்ணயிக்கப்பட்ட பொருண்மைகளுடைய விண்மீன்களில் எச். டி. 1337 (H.D. 1337—Pearce's star) என்ற விண்மீன் மிகவும் அதிகப் பொருண்மையுடையதாகும். இந்த இரட்டை விண்மீனின் உறுப்பினர் ஒவ்வொன்றும் முறையே ஞாயிற்றைக்காட்டிலும் 36·3, 33·8 மடங்குகள் பொருண்மையுடையனவாகும். β லைரீ (β Lyrae) என்ற விண்மீன் இதைவிட அதிகப் பொருண்மையுடையதாகும். இதன் உறுப்புகளின் பொருண்மை சரியாக நிர்ணயிக்கப்படவில்லை. ஆனுல், இவைகளின் பொருண்மை மொத்தமாக 95 ஞாயிறுகளுக்குக் குறைவாக இருக்கமுடியாது. ஒருவேளை இவை 60, 45 ஞாயிறுகளுக்குச் சமமாக இருக்கலாம். ப்ளாஸ்கட் விண்மீன் பி.டி. 6° 1309 (Plaskett's star B.D. 6° 1309) என்பது இன்னும் அதிகப் பொருண்மையுடையதாகும். இதன் உறுப்புகளின் பொருண்மைகளைப்பற்றியும் சரியாகத் தெரியவில்லை. இருந்தாலும் இதன் பொருண்மைகள் ஞாயிற்றைக்காட்டிலும் 75, 63 மடங்குகளைவிட அதிகமாக இருக்கும்.

இந்தமாதிரி விண்மீனின் எடையைக் கண்டுபிடிப்பது இரட்டை விண்மீன்களுக்கும், பல விண்மீன் தொகுதிகளுக்குமே (multiple systems) ஆகும். இஃது ஒருதனிப்பட்ட விண்மீனின் பொருண்மையைக் கண்டுபிடிக்க உதவாது. தொடர்புக்கொள்கை தனிப்பட்ட விண்மீன்களின் பொருண்மைகளைக் கண்டுபிடிக்க ஒரு வழியைக் கொடுக்கின்றது. ஆனுல், இது சில குறிப்பிட்ட வகைகளுக்குத்தான் பொருத்தமாகும். இதை இங்குக் குறிப்பிடுவதற்குக் காரணம் யாதெனில், மிகவும் வெளிச்சமான விண்மீன்களைச் சேர்ந்த 'ட்ரம்பளர்' விண்மீன்களின் (Trumpler stars) பொருண்மை ஞாயிற்றைக்காட்டிலும் 100 மடங்குகளாகும் என்று இந்த முறையைக்கொண்டே நிர்ணயிக்கப்பட்டது.

விண்மீன்கள் பலவகைப் பொருண்மையுடையன என்று நாம் எதிர்பார்க்கலாம். ஞாயிற்றைக்காட்டிலும் மிலியன் மடங்குகள் அல்லது பல மிலியன் மடங்குகள் பொருண்மையுடைய விண்மீன்கள் உள்ளன என்று நாம் கருதலாம். பொருண்மைகள் ஒரு குறுகிய எல்லைக்குள் (narrow limits) இருப்பதால் விண்மீன்களை ஒரு குறிப்

பிட்ட வானப்பொருள் என்று நினைக்கலாம் ; அவை ஒளிதரும் வெறும் எரிபொருள்கள்மட்டுமாகா.

மேற்கண்ட சிறிய அட்டவணையில் பொருண்மைகளின் சராசரி, ஞாயிற்றைக்காட்டிலும் ·96 மடங்குகளாகும். இதனால் ஞாயிற்றின் பொருண்மை சராசரிப் பொருண்மையைவிட அதிகமாகும் என்று கூறலாம். இன்னும் தீவிரமாக ஆராய்ந்ததில் ஞாயிற்றின் பொருண்மை அநேக விண்மீன்களின் பொருண்மைகளைக்காட்டிலும் அதிகமாகும் என்று தெரிகிறது.

வெளிச்ச அளவு

முன் கொடுக்கப்பட்ட அட்டவணையில் கடைசி பத்தி விண்மீன் களின் வெளிச்ச அளவுகளைக் கொடுக்கின்றது. அதாவது வானநூல் அளவில் வத்தித்திறனைக் கொடுக்கின்றது. ஞாயிற்றின் வத்தித்திறன் இந்த அளவில் ஒன்று (one unit) எனக் கொள்ளவேண்டும். உதாரணமாக, சிரியஸுக்கு எதிரில் கொடுக்கப்பட்ட 24 என்ற எண், சிரியஸை வானவெளியில் ஒரு கலங்கரை விளக்கமாக வைத்தால், அதன் வத்தித்திறன் ஞாயிற்றின் வத்தித்திறனைவிட 24 மடங்குக ளாகும் என்பதைக் குறிக்கும். விண்மீன்களின் வெளிச்ச அளவுகள் அவைகளின் பொருண்மைகளைவிட அதிக மாறுதலைக் காண்பிக் கின்றன. பொதுவாக, அதிகப் பொருண்மையுடைய விண்மீன்கள் மிக வெளிச்சமுடையனவாகும். இது நாம் எதிர்பார்ப்பதே. ஆனால், நாம் எதிர்பாராதது என்னவென்றால், இந்த விண்மீன்கள் ஒரு யூனிட் பொருண்மைக்கு ஏற்ப வெளிவிடும் வெளிச்ச அளவும் அதிகமாகவே இருப்பதே. அநேக விண்மீன்களின் வெளிச்ச அளவு அவைகளின் பொருண்மைகளின் மூன்றும் அடுக்காகும். (முதல் அடுக்கன்று.) அதாவது ஞாயிற்றைவிட இரண்டு மடங்கு அதிகப் பொருண்மையுடைய ஒரு விண்மீன் ஞாயிற்றைப்போல் 8 மடங்கு அதிக வெளிச்சத்தை யுடையதாகும். இங்கேதான் இதுவரையில் வானநூலில் முக்கியமான புதிராக இருந்த ஓர் உண்மையை அறிகிறோம். இந்தப் புதிரைப்பற்றி முற்றிலும் நம்பத்தகுந்த உண்மைகளைப்பற்றிப் பின்பு காண்போம்.

நிறமாலைவகை இரட்டை விண்மீன்கள்

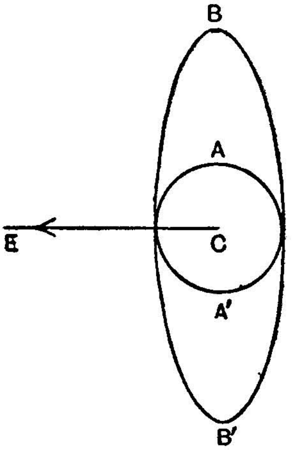
இரட்டை விண்மீன் அமைப்பில் இரண்டு உறுப்புகளும் வெவ்வேறு வேகத்தோடு நகரும். ஆகையினால், இதன் நிறமாலை சாதாரணமாக இரண்டு தனி நிறமாலைகளின் சேர்க்கையாகக் காணப்படும். அதாவது, இரண்டு உறுப்புகளின் தனிப்பட்ட இடப்பெயர்ப்புக்கேற்ற வித்தியாசங் கள் காணப்படும். இதற்கு உதாரணம் ஒளிப்படம் XVI-ல் கொடுக்கப் பட்டுள்ளதுபோல் இருக்கும். இந்த ஒளிப்படத்தில் காண்பிக்கப்

பட்டிருப்பது ஜீடா உர்சா மேஜரீஸ் (ζ Ursae Majoris) என்ற இரட்டை விண்மீன் நிறமாலையாகும். இதில் முதலில் கீழே கொடுக்கப் பட்டுள்ள கோட்டை , கவனிக்கவேண்டும். முன்போலவே மேலும் கீழும் உள்ள இரண்டு நிறமாலைகளும் ஒன்ருகும். இது புவியிலுள்ள சில பொருள்களின் நிறமாலைக் கோடுகளைக் காட்டுகின்றது. ஒப்பிடும் வகையில் நடுவில் இருப்பது ஒரு விண்மீனினுடையதாகும். இதில் ஒப்பிடுவதற்கென எடுத்துக்கொண்ட ஒவ்வொரு நிறமாலையும் இரண்டு தனிக்கோடுகளாய் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றது. ஒவ்வொரு கோடும் ஒவ்வோர் உறுப்பைக் குறிக்கும். இந்தக் கோடுகளின் இடப்பெயர்ச்சி கள் ஒவ்வோர் உறுப்பின் வேகங்களைக் காட்டும். மேல்வரிசையில் நிறமாலைக் கோடுகள் தனித்தனியாகக் காணவில்லை. இதற்குக் காரணம் நிறமாலையை ஒளிப்படமாக்கும்பொழுது இரண்டு உறுப்புகளும் ஒரே வேகத்தில் சென்றதனுல் ஆகும். ஒரு வானநூல் அறிஞர் இரண்டு உறுப்புகளுடைய சுற்றுப்பாதைகளைப்பற்றித் தெரிந்துகொண்டால், இதிலிருந்து இந்த இரட்டை விண்மீன்களின் உறுப்புகளின் வேகங் களைத் தான் காணும் திசையில் எவ்வளவு என்பதை நிர்ணயித்து விடலாம். இதிலிருந்து இரண்டு நிறமாலைகளும் ஒரு நிறமாலைக் கருவி மூலம் ஆராயப்பட்டால் எவ்வளவு வித்தியாசத்தைக் காட்டும் என்பதைக் கணக்கிட்டுவிடலாம். நிறமாலைக்கருவி இதை ஊர்ஜிதப்படுத்தும்.

இதற்கு எதிரிடையான நிலையை ஆராய்வதும் நலனுகும். ஒரு வானநூல் அறிஞர், ஒரு விண்மீனிலிருந்து வரும் ஒளியைச் சோதனை செய்த பிறகு கோடுகள் இரண்டு மடங்கு தள்ளி அமைக்கப்பட்ட கலப்பு நிறமாலை ஒன்றை (composite spectrum) அடைந்தார் என்று கொள்வோம்—ஒளிப்படம் XVI-ல் கீழ் வரிசையிலுள்ளபடி. இந்தக் கோடுகளின் இடப் பெயர்ச்சி முன்னும் பின்னும் சரியான நிலையிலிருந்து விலகி இருப்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். இரண்டு நிறமாலைகள் இருக் கின்றன என்பதைக்கொண்டு வானநூல் அறிஞர் ஓர் இரட்டை விண் மீனை ஆராய்ச்சி செய்கிருர் என்பதை உணர்வார். இந்த இடப் பெயர்ச்சி இரண்டு வாரத்துக்கு ஒரு முறை காணப்பட்டால் இதிலிருந்து சுற்றுப் பாதையில் ஒரு தரம் செல்வதற்கு இரண்டு வாரங்கள் ஆகின்றன என்று தெரிந்துகொள்வார். இதற்குப் பிறகு இந்த விண்மீன்களை நேரடியாகப் பார்த்து அவை இரட்டை விண்மீன் என்றும் ஒன்றை ஒன்று சுற்றிவர இரண்டு வாரங்கள் ஆகின்றன என்றும் முடிவு காண்பார்.

இதேமாதிரி இன்னெரு நிறமாலையைச் சோதனை செய்து, இதி லுள்ள கோடுகள் இரண்டுநாளுக் கொருமுறை இடப் பெயர்ச்சி காண்பித்ததாக வைத்துக்கொள்வோம். இந்த விண்மீனை நேரடியாகப் பார்த்து ஒரே ஒரு வெளிச்சப் புள்ளியாகத்தான் தென்பட்டதென்று வைப்போம். இருந்தாலும், அவை இரண்டு விண்மீன்களாகத்தான்

இருக்கவேண்டும் என்றும், அவை ஒன்றை ஒன்று சுற்றிவர இரண்டே நாள் எடுத்துக்கொள்வதால் அவை ஒன்றுக்கொன்று மிக நெருங்கி இருக்கவேண்டுமென்றும், இவைகளைத் தொலைநோக்கியால் இரண்டு தனிப் புள்ளிகளாகக் காண்பிக்க இயலவில்லை என்றும் முடிவு கட்டுவார். இம்மாதிரி தொலைநோக்கியால் ஒரே புள்ளியாகக் காட்டப்பட்டு, நிறமாலைக் கருவியினால் ஓர் இரட்டை விண்மீன் என்பது தெளிவாகக் காண்பிக்கப்படும். இத்தகைய இரட்டை மீன்கள் 'நிறமாலைவகை இரட்டை மீன்கள்' (spectroscopic binaries) என்று சொல்லப்படும். இந்த மாதிரி விண்மீன்கள் ஆயிரத்துக்குமேல் கண்டுபிடிக்கப்பட்டிருக்கின்றன.



படம் 6.

AA' என்ற சிறிய சுற்றுப் பாதையும், BB' என்ற பெரிய சுற்றுப் பாதையும், CE என்ற காணும் திசையில் ஒரே நேர் வேகங்களைக் காட்டுகின்றன.

நிறமாலைச் சோதனையின்மூலமாக இவைகளின் சுற்றுப் பாதையை அமைக்க முயன்றால் வானநூல் அறிஞருக்கு இது கடினமானதாகும். ஏனென்றால், அவருடைய சோதனை அவர் காணும் திசையில் விண்மீன்களின் நேர்வேகத்தைக் கொடுக்கும். அஃது இந்த விண்மீன்களின் உண்மை வேகத்தையும் வானவெளியில் அவைகளின் சுற்றுப் பாதைகளின் அமைப்பையும் பொறுத்திருக்கும். இதே நேர் வேகம் அவர் காணும் திசைக்குச் செங்குத்தாக இருக்கும் ஒரு சம தளத்திலுள்ள பெரிய சுற்றுப் பாதையிலும் கிடைக்கும். ஆகையினால், நிறமாலைச் சோதனையிலிருந்தே ஒரு விண்மீனின் உண்மைச் சுற்றுப் பாதையையும் அதன் எடைகளையும் நிர்ணயித்துவிட முடியாது.

மறைக்கும் இரட்டை விண்மீன்கள்

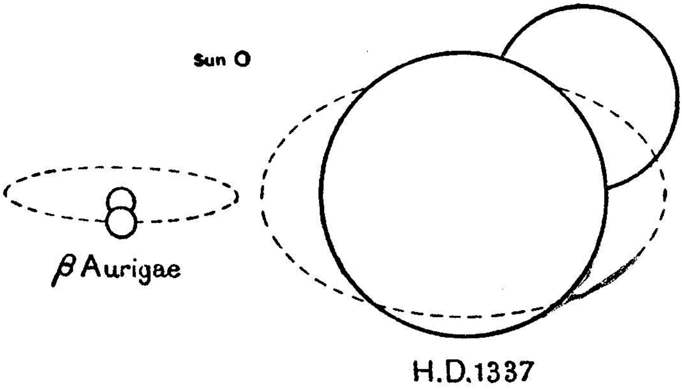
மேற்சொன்னவற்றிற்கு ஒரே ஒரு விலக்கு உண்டு. ஒரு விண்மீனின் ஒளி ஒரு குறித்த கால அளவில் மங்கியதாகக் காணப்பட்டு மறுபடியும் ஒளியுள்ளதாக இருக்கின்றது என்று கொள்வோம். இதற்கு ஒரு தெளிவான காரணம், இந்த இரட்டை விண்மீனின் உறுப்புகளில் ஒன்று மற்றொன்றை மறைப்பதாகும். இப்படி ஏற்படுவதற்குக் காரணம் அதன் சுற்றுப்பாதை தட்டையாக்கப்பட்டுப் புவியின்மூலம் செல்லும் ஒரு சமதளத்திலோ அல்லது புவிக்கு அருகிலுள்ள ஒரு சமதளத்திலோ அஃது அமைந்திருப்பதாகும். இப்படி இருந்தால் முழு

சுற்றுப் பாதையையும் மறுபடியும் ஏற்படுத்தி அதிலிருந்து இந்த உறுப்புகளின் எடைகளை நிர்ணயித்துவிடலாம். இதுமட்டுமன்றி, இந்த மறைவு ஏற்படும் கால அளவிலிருந்து இந்த விண்மீன்களின் உண்மையான பரிமாணங்களையும் கண்டுபிடித்துவிடலாம். இந்த மாதிரியான இரண்டு மறைக்கும் விண்மீன்களிலும் பரிமாணங்களும் அவைகளின் சுற்றுப் பாதைகளும் 7ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. இவை இரண்டும் ஒரே அளவில்தான் வரையப்பட்டிருக்கின்றன. ஞாயிற்றின் அளவு ஒரு சிறிய வட்டமாகக் காட்டப்பட்டிருக்கின்றது. எல்லா மறைக்கும் இரட்டை விண்மீன்களும் வெளிச்சத்தின் ஏற்றத் தாழ்வை, அந்த இரண்டு உறுப்புகளையும் இரண்டு உருண்டைகள் ஒன்றை ஒன்று சுற்றி வருவதுபோல் வைத்து விளக்கிவிடலாம். மற்ற உதாரணங்களில் இந்த விளக்கம் போதாது. அதாவது, இந்த விண்மீன்கள் மிகவும் சிக்கலான ஓர் அமைப்பு உடையன என்பதைக் குறிப்பதாகும். இரண்டு உறுப்புகளும் ஒன்றுக்கொன்று மிக அருகில் இருந்தால் இவை ஒன்றின்மேல் ஒன்று அலைகளை எழுப்பி இரண்டு விண்மீன்களின் உருவங்களையே மாற்றிவிடும் என்பது தெளிவு. இந்தமாதிரி நிலைகளில் இந்த விண்மீன்களின் உருவங்களைக் கோளங்கள் என்று கொள்ளாமல் கனநீள்வட்டம் (ellipsoid) என்று கொண்டால் தெளிவு ஏற்படும்.

இருந்தாலும் அவைகளின் சுற்றுப் பாதைகளை நிர்ணயிக்கும் பொழுது இந்த விண்மீன் உறுப்புகள் மிகவும் அருகில் இருந்திருக்கலாம். இதனால் இரண்டையும் ஒரு பொது வளிமண்டலம் சூழ்ந்து இவைகளை ஒன்றாகக் காண்பித்திருக்கலாம். இந்த நிலையில் ஒன்றை ஒன்று சுற்றும் இரண்டு தனி விண்மீன்கள் அல்லாமல் ஓர் எதிர்ப்பு இடைநிலைப் பொருளில் (resisting medium) நகர்ந்து செல்லும் இரண்டு பொருள்களாக இந்த விண்மீன்கள் அமைந்துவிடும். இந்த இடைநிலைப் பொருளின் எதிர்ப்பு ஆற்றல் நாம் காணும் வகையில் இயக்கம் நிறமாலை வழியில் கண்டறியும் நிலையில் இருக்கும்.

β லைரீ (β Lyrae) என்ற விண்மீன் இந்த மாறுதலைக் காண்பிக்கிறது. கோபல் (Kopal), ஓ. ஸ்ட்ருவ் (O. Struve), க்யூபர் (Kuiper) என்பவர்களின் ஆராய்ச்சிகளும் மேற்சொன்னவற்றை ஆதரிக்கின்றன. மேற்சொன்ன விண்மீன் சுற்றுங் காலமான 12·916 நாட்கள் வருடத்திற்கு 9·38 நொடிகள் வீதம், படிப்படியாக அதிகரித்துக்கொண்டிருக்கிறது. இதற்குக் காரணம் இந்த விண்மீனின் இயக்கத்திற்கு ஏதோ ஒரு தடை இருப்பதே ஆகும். இதன் நிறமாலை மிகச் சிக்கலுடையதாக இருக்கிறது. இதற்குக் காரணம், ஒரு நட்சத்திரத்திலிருந்து மற்றொரு நட்சத்திரத்திற்கும், மற்றும் வானவெளியில் சென்றுவிடும் வாயு ஓடைகளாகும் என்று ஸ்ட்ருவ் என்பவர் கருதுகிறார்.

ζ ஆருகி (ζ Aurigae) என்பது இந்த வகையைச் சேர்ந்த மற்றொரு மறைக்கும் இரட்டை விண்மீன்களாகும். இதில் ஓர் உறுப்பு சிறியதாயும் மிக வெளிச்சமுடையதாயும், மற்றொன்று மிகப்பெரியதாயும் மெல்லிய வாயுவினாலான ஒளிமண்டலத்தினால் சூழப்பட்டதாயும் உள்ளது. இதில் சிறிய விண்மீன் பெரிய விண்மீனின் பின்புறம்



படம் 7.

மறைக்கும் இரட்டை விண்மீன்களின் உறுப்புகளும் அவைகளின் சுற்றுப் பாதைகளும். (படத்தில் விட்டுவிட்டுப் போடப்பட்ட சிறு கோடுகள் பெரிய உறுப்பைச் சுற்றிவரும் சிறிய உறுப்பின் பாதையாகும்.)

செல்லும்பொழுது உடனே மறையாமல் ஒருநாள் முழுவதும் ஒளியுடன் இருந்து போகப்போகக் குறைந்து பெரிய விண்மீனின் வளிமண்டலத்தில் மறைந்துவிடுகிறது. இதன் ஒளி மங்கமங்க அதன் நிறமாலை சில மாறுதலை அடைகின்றது. இதிலிருந்து பெரிய விண்மீனின் வளிமண்டலத்தில் எந்தெந்த இயைபுப் பொருள்கள் உள்ளன என்பதைக் கண்டுபிடித்துவிடலாம். இதைத் தவிர இந்தப் பொருள்கள் எவ்வாறு உள்ளன என்பதையும் அறியலாம். இங்கு ஒரு விண்மீனின் உட்புற அமைப்பைப்பற்றி அதன்மேல் பாயும் ஒளியைக்கொண்டு அறிந்துவிடலாம்.

நிறமாலை இரட்டை விண்மீன்களில் மறைவு ஏற்படாவிட்டால் அவைகளின் சுற்றுப் பாதைகள் எவ்வளவு தூரம் சுருக்கப்பட்டிருக்கின்றன என்பதறிய வழி இல்லை. ஆனால், தோராய அளவில் இந்தச் சுருக்கத்தைக் கணக்கிட்டு இதிலிருந்து விண்மீன்களின் எடைகளை நிர்ணயித்துவிடலாம். பலவகை சுருக்கங்களுக்கேற்ற எடைகளை நிர்ணயித்துக்கொண்டே போனால் சுற்றுப் பாதையின் தளமட்டம் புவியின் வழியில் செல்லும்பொழுதுதான் குறைந்த எடை கிடைக்கும். அதாவது, அந்த அமைப்பு மறைக்கும் விண்மீனின் அமைப்பாக இருக்கும்பொழுது. ஆகையினால், மறையாத இரட்டை விண்மீன்களின்

எடைகளைச் சரியாக அறியாவிட்டாலும் அவைகளின் எடைகளுக்கு ஓர் அடி வரம்பைக் (lower limit) கொடுக்கலாம். இந்தமாதிரிதான் ப்லாஸ்கெட் விண்மீனின் இரண்டு உறுப்பும் ஞாயிற்றைவிட முறையே 75, 63 மடங்குகள் அதிக எடையுடையனவாகும் என்று நிர்ணயிக்கப்பட்டது.

மாறும் விண்மீன்கள் (Variable Star)

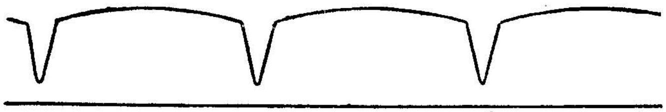
விண்மீன்களில் அநேகம் ஒரேமாதிரியான ஒளியுடையனவாக இருக்கின்றன. இதனால், இவைகளின் வத்தித்திறன் எவ்வளவு என்று சொல்லிவிடலாம். உதாரணமாக, ஞாயிறு $3{\cdot}23\times10^{27}$ வத்தித்திறன் உடையதாகும்.

ஒளி பளிச்சென்று காணப்படும் விண்மீன்களும் உள்ளன. மறைக்கும் விண்மீன்களில் இந்தமாதிரியான வெளிச்சம் வழக்கமாகக் காணப்படுகின்றது. இதைக்கொண்டே நேரத்தைச் சொல்லிவிடலாம் என்று தோன்றும். இந்த ஏற்றத்தாழ்வு மற்ற விண்மீன்களில் இதே மாதிரியாக இல்லாவிட்டாலும் கிட்டத்தட்ட இவ்வாறே இருக்கும். இன்னும் இதர விண்மீன்களில் ஏற்றத்தாழ்வு முறையற்றதாய் இருக்கின்றது. இது நாளடைவில் ஒரு கட்டுப்பாட்டில் அமையும் என்று சொல்லலாம். ஆனால் தற்போது இந்தமாதிரியான விண்மீன்களைப் பற்றிய ஆராய்ச்சி நமக்குத் தேவையில்லை.

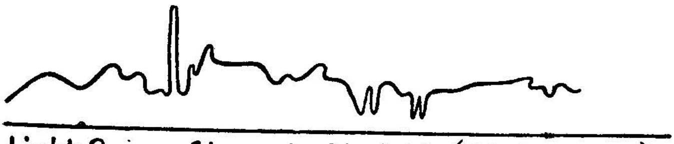
ஸீபைடுகளும் கொத்து மாறிகளும் (Cepheid and Cluster Variables)

முறையாக மாறும் விண்மீன்களைச் சேர்ந்த 'ஸீபைடு மாறிகள்' நமக்கு முக்கியமானவையாகும். இவைகளின் வகையைச் சேர்ந்தது தான் δ ஸிபை (δ Cephei). இவைகளின் பௌதிக அமைப்பைப் பற்றியும் ஒளி மாறுதலைப்பற்றிய உண்மைகளும் நன்றாகத் தெரியவில்லை. இதைப் பின்பு பார்ப்போம்.

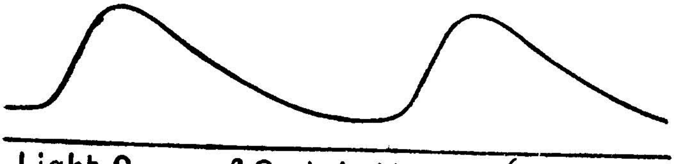
இவைகளின் ஒளி மாறுபாடுகள் யாதாயினும் இவை நமக்குப் பயன்படக்கூடிய ஒரு பிரத்தியேக சிறப்புடையனவாக இருக்கின்றன. இப்படி இருப்பதனால் இவற்றை ஒரு தடங்கலும் இன்றி ஏற்றுக் கொள்வோமாக. சரியானபடி மாறிக்கொண்டே இருக்கும் வெளிச்சத்தையுடைய மறைக்கும் இரட்டை விண்மீன்கள் காலத்தை அளக்கப் பயன்படும். இதற்கு ஒளி மாறுதலின் காரணத்தைப்பற்றி அறியவேண்டியதில்லை. இதேமாதிரி ஸீபைட் மாறிகளின் ஒரு தன்மையைக்கொண்டு வானவெளியை அளக்கலாம். இவைகளைப் பேரண்டத்தில் நெடுந்தூரத்திலுள்ள பகுதிகளை அளப்பதற்கு ஓர் அளவுகோலாகப் பயன்படுத்தலாம். இந்தத் தன்மையால் விண்மீன்களின் தனி வெளிச்சத்தைக்கொண்டு அவைகளின் தூரங்களைக்



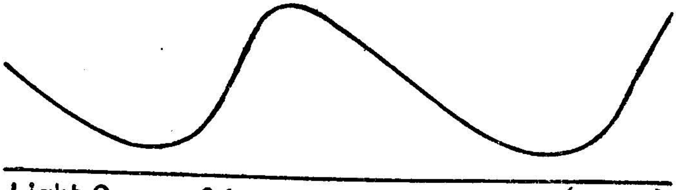
Light-Curve of Eclipsing Binary (β Aurigae)



Light-Curve of Irregular Variable (RS Ophiuchi)



Light-Curve of Cepheid Variable (ν Lacertae)



Light-Curve of Long Period Variable (o Ceti)

படம் 8.

குறிப்பிட்ட மாறும் விண்மீன்களின் ஒளிக்கோடுகள்

கணக்கிட்டுச் சொல்லலாம். இந்த ஒளி மாறுதல் ஒரு தனிப்பட்ட வகையில் இருப்பதால் இந்த விண்மீன்களைக் கண்டறிய எளிதாக இருக்கிறது. ஒளி திடீரென்று அதிகரித்து படிப்படியாகக் குறைகின்றது. இதேமாதிரி மறுபடியும் ஏற்படுகிறது. இஃது ஒரு பந்தத்

தில் யாரோ ஒருவர் குறித்த கால அளவில் எரிபொருளை விட்டெறி வதுபோல் இருக்கின்றது. இன்னொருவகை மாறும் விண்மீன்கள் பொதுவாக 'நெடுநாள் மாறிகள்' என்று அழைக்கப்படுகின்றன. இவை மேற்சொன்னவாறு ஒளி மாறுதல்களைக் காண்பிக்கின்றன. ஆனால், இதன் கால அளவு அதிகமாகையால் இதைக் கண்டுபிடித்து விடலாம். நெடுநாள் மாறிகளில் ஒளி மாறுதல் வருடத்துக்கு ஒரு முறை ஏற்படுகிறது. ஸீபைட் மாறிகளில் இவை இன்னும் துரிதமாக ஏற்படுகிறது. இதில் ஒரு மாதத்திற்கு ஒரு முறையோ அல்லது சில நாட்களுக்குள்ளேயோ அல்லது சில மணி நேரத்திற்குள்ளேயோ மாறு தல் ஏற்படுகிறது. ஸீபைட் மாறிகளில் ஒரு தனிவகை உருண்டைக் கொத்துகளாகக் காணப்படுகின்றன. இவைகளுக்குக் கொத்துமாறிகள் என்று பெயர். இவை 6-லிருந்து 10 மணிகளுக்கொருமுறை ஒளிமாற் றம் அடைகின்றன. இவைகளில் சில இன்னும் சீக்கிரமே மாற்றம் காண்பிக்கின்றன. ω ஸென்டாரி (ω Centauri) என்ற கொத்து ஒன்றரை மணி நேரத்திற்கு ஒருமுறை ஒளிமாற்றம் காண்பிக்கிறது. 8ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டிருப்பது பல மாறும் விண்மீன்களின் ஒளிக்கோடு களாகும். ஒவ்வொரு படத்திலும் காலமுன்னேற்றத்தை இடப்புறத்தி லிருந்து வலதுபுறமாகக் காட்டப்பட்டிருக்கின்றது. வளைகோட்டின் உயரம் அதிகமானல் விண்மீனின் ஒளியும் (அந்த நேரத்தில்) அதிக மென்று கொள்ளவேண்டும்.

விண்மீன்களின் தொலைவு

அண்டத்தின் விளிம்பில் 'குறை மெகலனிக் மேகங்கள்' (Lesser Magellanic Clouds) என்று சொல்லப்படும் விண்மீன் கொத்துகள் (ஒளிப்படம் XIII) உள்ளன. இதில் ஸீபைட் மாறிகள் அதிகமுள்ளன. 1912ஆம் ஆண்டில், ஹார்வார்டைச் சேர்ந்த (Harvard) மிஸ் லீவிட் (Miss Leavitt) என்ற மாது இந்த மேகத்தில் மிக வெளிச்சம் பொருந்திய ஸீபைட் மாறிகளைக்காட்டிலும் மங்கலானவை நிதானமான ஒளிமாற்றத்தோடு உள்ளன என்று கண்டுபிடித்தார். விண்மீன்களின் ஒளியின் ஏற்றத்தாழ்வு எந்தக் காரணத்தைக்கொண்டு இருந்தாலும், இது மங்கலான விண்மீன்களுக்கே அதிகமானதாகும். ஸீபைட் மாறி களில் பல வெவ்வேறு தூரங்களிலிருந்தால் அவைகளில் காணப்படும் வெளிச்சம் ஓர் அளவுக்கு அவைகளின் சுய ஒளியை அல்லது வத்தித் திறனை ஒத்திருக்கும். ஆனல், மெகலனிக் மேகத்தில் உள்ள விண்மீன் கள் கிட்டத்தட்ட புவியிலிருந்து ஒரே தூரத்திலிருப்பதனல் இவைகளில் காணப்படும் வெளிச்சத்தின் வித்தியாசம் உண்மையாகவே இவைகளின் சுய ஒளி வித்தியாசத்தைக் காட்டும். மிஸ் லீவிட்டின் முடிவைப் பின் வருமாறு சொல்லலாம்: ஒரு ஸீபைடின் ஒளியின் ஏற்றத்தாழ்வு அதன் வத்தித்திறனைப்பொறுத்திருக்கிறது. இந்த உண்மை முதலில்

மெகலனிக் மேகத்தில் உள்ள விண்மீனுக்குக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டாலும் நாளடைவில் எல்லா ஸீபைடுகளுக்கும் பொருந்தியதாயிற்று.

A, B என்ற ஸீபைடுகள் வானத்தில் ஒரே அளவில் ஒளிமாற்ற முள்ளதானால் அவைகளின் சுய வத்தித்திறன் சமமாகும். அவை களில் காணும் வெளிச்சங்களில் உள்ள வித்தியாசம் அவைகளின் தொலைவினால் ஏற்பட்டவையாகும். A என்பது B-யைக் காட்டிலும் நூறுமடங்கு அதிக வெளிச்சமுடையதானால் B-ன் தொலைவு A-யைக் காட்டிலும் 10 மடங்கு அதிகமாகும். இதேமாதிரி மூன்றும் ஸீபைட் C, B-யைவிட 10 மடங்கு அதிக தூரத்தில் உள்ளதாயிருக்கலாம். அப்படியானால், இது Aயைவிட நூறுமடங்கு அதிக தூரத்தில் இருக்கும். D, C-யைவிடப் பத்துமடங்கு தூரத்திலிருந்தால் Bயின் தூரம் A-யின் தூரத்தைவிட ஆயிரமடங்குகளாகும். இதேமாதிரி நாம் நம் அளவை அதிகரித்துக்கொண்டே போகலாம். இதற்கு எல்லை உண்மையில் மிக வெளிச்சமுள்ள ஸீபைடுகள்கூட நமக்கு மங்கலாகக் காணமுடியாமல் இருக்கும்வரை ஆகும்.

இந்த முறை ஸீபைடுகளின் ஒப்பிட்ட தூரங்களைத்தான் கொடுக்க முடியும். அருகிலுள்ள சில ஸீபைடுகளின் உண்மை தூரம் முன்பே கூறப்பட்ட பாரலக்டிக் (parallactic) முறையில் நிர்ணயிக்கப்பட்டிருக் கிறது. அதாவது, வானத்தில் தென்படும் அவைகளின் இயக்கத்தி லிருந்து (இந்த இயக்கம் புவி ஞாயிற்றைச் சுற்றிச் செல்வதனால் ஏற் படும்) கண்டுபிடித்துவிடலாம். இந்த விண்மீன்களில் ஏதாவது ஒன்றை ஸீபைட் A என்று வைத்து ஒவ்வொரு ஸீபைடின் உண்மை தூரத்தை யும் தனித்தனியாகக் கண்டுபிடித்துவிடலாம். இதேமுறையில் போழ்து வெளிச்ச விதி என்று சொல்லப்படும் ஒருவகை அளவு முறையைக் கொண்டு ஸீபைடுகளின் உண்மை வெளிச்சத்தையோ, வத்தித் திறனையோ கண்டுபிடித்துச் சொல்லிவிடலாம். ஸீபைடுகளை வான வெளியில் ஆங்காங்கே உள்ள கலங்கரை விளக்கங்களாகக் கருதலாம். ஒரு மாலுமி கடலிலுள்ள கலங்கரை விளக்கங்களை அவைகளின் வெளிச் சத்தைக்கொண்டு எப்படி அவைகளை அறிகின்றாரோ அதேபோல் ஸீபைடுகளிலும் கண்டறியலாம். எப்படி ஒரு மாலுமி 'அட்மிரல்டி சார்ட்'டைக் (Admiralty chart) கொண்டு கடலிலுள்ள கலங்கரை விளக்கத்தின் வத்தித்திறனை கண்டுபிடிக்கின்றாரோ அதேபோல் ஸீபைடு களின் ஒளி ஏற்றத்தாழ்விலிருந்து அவைகளின் வத்தித்திறனைச் சொல்லிவிடலாம். ஸீபைடுகளில் காணப்படும் வெளிச்சம் அதன் தூரத்தைக் கொடுக்கின்றது. உதாரணமாக, 40 மணிக்கு ஒருமுறை ஒளி ஏற்றத்தாழ்வுடைய ஒரு ஸீபைட் ஞாயிற்றைவிட 200 மடங்கு பிரகாசமுடையதாகும். ஆகையினால், $6{\cdot}46\times10^{29}$ வத்தித்திறனாகும். 10 நாட்கள் ஞாயிற்றைவிட 1600 மடங்கு வெளிச்ச அளவைக் குறிக்கும். அதாவது $5{\cdot}17\times10^{30}$ வத்தித்திறன்கள். தூரத்திலுள்ள ஒரு விண்மீன்

ஒரு ஸீபைட் என்றும் அதன் போழ்து 10 நாட்கள் என்ருல் அதன் வத்தித்திறன் $5 \cdot 17 \times 10^{30}$ என்று சொல்லலாம். அதன் தோற்ற வெளிச்சம் 16 'மாக்னிடியூட்' (magnitude 16) என்ருல் அதாவது 570 மைல்களுக்கு அப்பாலுள்ள ஒரு வத்தியின் வெளிச்ச அளவு என்று பொருள். ஒரு வத்திக்கும் $5 \cdot 17 \times 10^{30}$ வத்திகளுக்கும் உள்ள வித்தியாசம் 570 மைல்களுக்கும் நாம் எடுத்துக்கொண்ட பொருளின் தூரத்தின் வித்தியாசத்துக்கும் சமமாகும். ஆகையினுல், வெளிச்சம் தூரத்தின் இரண்டாம் அடுக்குக்கு ஏற்பக் குறைவதனுல் அந்தப் பொருளின் தூரம் 220,000 ஒளி வருடங்கள் என்று சொல்லலாம். ஆனுல், இந்தக் கணக்கில் வெளிச்சத்தை மறைக்கும் பொருள்களின் இருப்பையும் எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும். அப்பொழுதுதான் சரியான அளவு கிடைக்கும்.

தற்கால வான நூலின் முக்கியத்துவத்தை மிகைப்படுத்த முடியாது. முழு பேரண்டத்தை ஆராய்வதற்கு முடியாவிட்டாலும் ஸீபைடுகள் காணப்படும் பகுதிகளையாவது ஆராய முடியும். இவ்வாறு சொல்வதும் தேவை இல்லை. ஏனென்ருல் ஸீபைடுகள் வானவெளி முழுவதுமே பரவி இருக்கின்றன. ஆகையினுல், பேரண்டத்தில் அதிக தொலைவிலுள்ள பகுதிகளை ஆராய இந்த முறை மிகவும் பயன்படுகிறது. மற்ற முறைகள் தோல்வி அடையும்பொழுது இந்த முறை வெற்றியை அளிக்கின்றது. பாரலக்டிக் முறை சுமார் 100 ஒளி வருடங்களுக்குமேல் உள்ள தூரத்திற்குப் பயன்படுவதில்லை. வானத்தில் இந்த தூரத்திலுள்ள ஒரு விண்மீனில் காணும் சுற்றுப்பாதை இரண்டு மைல் தூரத்திற்கு அப்பாலுள்ள ஒரு குண்டூசியின் தலை அளவே இருக்கும். நவீன கருவிகள் எவ்வளவு நுட்பமானவைகளாக இருந்தாலும் இவ்வளவு சிறிய சுற்றுப்பாதையை அவைகளால் அளக்க இயலவில்லை.

போழ்து வெளிச்ச விதியின்படி செய்யப்படும் அளவு முறை வேறு வகையைச் சேர்ந்ததாகும். நமக்கு அருகிலுள்ள ஸீபைடுகளும் மிகத்தொலைவில் இருப்பதால், இவைகளின் தூரத்தை அளப்பதற்கு பாரலக்டிக் முறை, இன்னும் மற்ற எந்த முறையாலும் அவை சரியான முறையாகாது. ஆகையினுல், போழ்து வெளிச்ச விதி ஸீபைடுகளின் சார்பு தூரங்களைச் சரியானபடி அளக்க உதவுகிறது. ஆனுல், அவைகளின் உண்மை தூரங்களை இவ்வளவு சரியாக அளக்கமுடியாது. இருந்தபோதிலும், மிகச் சமீபத்தில் நிர்ணயிக்கப்பட்ட அளவுகளும் 10 சதவீதத்திற்குமேல் தவறுள்ளதாக இருக்கும் என்று சொல்ல முடியாது.

இந்த உறுதி இல்லாத காரணத்திஞல்தான் இந்தப் புத்தகத்திலும் வானநூலிலும் கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் அதிக தூரங்கள் 10 சதவீதம் அளவில் தவறு உள்ளதாக இருக்கலாம் என்று வைத்துக்கொள்ள

வேண்டும். இருந்தபோதிலும், போழ்து வெளிச்ச விதி ஒரு மிலியன் ஒளி ஆண்டு தூரத்திற்குள் உள்ள பொருள்களின் தொலைவைப் பாரலக்டிக் முறைப்படி அளக்கப்படும் 100 ஒளி ஆண்டுகள் ஒளி தூரத்திலுள்ள விண்மீன்களின் தூரத்தைவிடக் குறைந்த அளவில் தவறுள்ளதாக இருக்கும்.

வானவெளி ஆய்வு

வானவெளியை இன்னும் பல முறைகளில் ஆராயலாம். நம்மால் காணக்கூடியதும் ஒரே அளவு ஒளியை வெளிவிடுவதுமான ஒரு வானப் பொருள் வானநூலில் தொலைவுகளைக் கணக்கிடப் பயன்படும். ஏன் என்றால் ஒருமுறை இந்தப் பொருளின் சுய வெளிச்சத்தைக் கண்டு பிடித்துவிட்டால் அதே வெளிச்ச அளவுள்ள இதர பொருள்களின் தொலைவுகளை, அவைகளின் தோற்ற வெளிச்சத்தைக்கொண்டே அளந்துவிடலாம்.

குறித்த போழ்துகளையுடைய ஸீபைடுகள் இந்தமாதிரி அளவிற்குப் பயன்பட்டாலும் குறைந்த அளவில் இன்னும் மூன்று பொருள்கள் இம் மாதிரி அளப்பதற்குப் பயன்படுகின்றன. இவைகளில் முதலாவது நீண்டகால மாறிகளாகும். இவை பொதுவாக ஸீபைட்மாதிரி இருந்த போதிலும் இவைகளின் ஒளி மிகவும் நிதானமாக மாறுகின்றது. இவை ஸீபைடுகளைக்காட்டிலும் அதிக ஒளியுடையனவாகும். இவைகளில் அநேகம் ஞாயிற்றைக் காட்டிலும் 10,000 மடங்குகள் பிரகாசமுடையன வாகும். ஆகையினால், இவைகளை மிகத் தொலைவிலும் காணலாம். ஆகையினால், வானவெளியை மிகத் தொலைவுவரை ஆராய்வதற்கு ஸீபைடுகளைவிடப் பயன்படும்.

அடுத்தபடியாக உள்ளது நோவி (novae) என்று சொல்லப்படும் புது விண்மீன்களாகும். இப்பொழுதும் அப்பொழுதுமாக வானத்தில் ஒரு சாதாரண விண்மீன் திடீரென்று வெடித்துப் பிரகாசமாகி, அதாவது முன்னைவிட 1000 மடங்கு வெளிச்சமுள்ள பொருளாகக் காணப்படு கின்றது. இதற்குத் தகுந்த காரணம் இதுவரை என்னவென்று தெரியாது ; ஆனால், நமக்கு அருகிலுள்ள வெடிமீன்களை ஆராய்ந்ததில் அவை அதிகபட்சம் ஞாயிற்றைவிட 25,000 மடங்கு வெளிச்ச அளவு உள்ளவையாக இருக்கின்றன என்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இந்த வகையைச் சேராத மற்றொரு புதுவகை வெடிமீன் 'ஸூபெர்நோவி' என்பதாகும். இவை சாதாரண வெடிமீன்களைப்போல் இல்லாமல் மிக அதிக ஒளி உள்ளனவாக இருக்கின்றன. ஒரு சிறு பகுதியில் பல நூறு மிலியன் ஞாயிறுகளின் ஒளியையுடையனவாக இருக்கின்றன. இவை களைத் தள்ளிவிட்டால், சாதாரண வெடிமீன்கள் நமக்கு வேண்டிய, அளப்பதற்குத் தேவையான பொருள்களாகும். இவை வானத்தில்

பல பகுதிகளிலும் இருக்கின்றன. தொலைவான அண்டங்களிலும் இவை இருப்பதால் விண்மீன்களின் தூரங்களையும், நெபுலாக்களின் தூரங்களையும் அளக்க இவை பயன்படுகின்றன.

மற்றொருவகைப் பொருள்கள் நீல விண்மீன்களாகும். இவை மிகவும் வெளிச்சமுடையனவாகவும் நீலநிறமுடையனவாகவும் இருக்கின்றன. இவைகளின் நிறமாலை ஒன்றுக்கொன்று அதிக வித்தியாசம் காட்டுவதில்லை. ஆகையினால், இவைகளை ஒரு தனிப்பட்ட ஒளியுடையவைகளாக எடுத்துக்கொண்டு இவைகளோடு சேர்ந்திருக்கும் வானப்பொருளின் தூரத்தை அளந்துவிடலாம்.

இவைதவிர விண்மீன் தூரத்தை அளக்க இரண்டு முறைகள் உள்ளன. சிலவகை விண்மீன்களின் நிறமாலைகளிலிருந்து அவைகளின் வளிமண்டலங்களின் அடர்த்தியை நிர்ணயிக்கலாம் என்று டபிள்யூ. எஸ். ஆடம்ஸ் (W. S. Adams) என்பவர் கண்டுபிடித்திருக்கிறார். இந்த அடர்த்தி விண்மீனின் பௌதிக முறையைப்பொறுத்திருக்கும். இந்த பௌதிகநிலை விண்மீனின் உண்மை வெளிச்சத்தைப் பொறுத்திருக்கும். ஆகையினால், இதை நிர்ணயித்தால் விண்மீனின் தூரத்தை அதன் தோற்ற வெளிச்சத்திலிருந்து கண்டுபிடித்துவிடலாம். இந்த முறையை நிறமாலை பாரலாக்ஸ் (Spectroscopic Parallaxes) முறை என்று சொல்லுவார்கள். இஃது ஒரு தவறான பெயர் ஆகும். ஏன் என்றால் பாரலாக்ஸ் என்பது கோணங்களை அளப்பதாகும். ஆனால், இந்த முறைக்கும் கோணங்களுக்கும் தொடர்பே கிடையாது.

விண்மீன்களின் இடைவெளிகளில் பரவிக்கிடக்கும் நெபுலப்பொருள்கள் அவைகளின்மூலம் ஊடுருவிச் செல்லும் ஒளிகளின் தன்மையைப் பாதிக்கும். ஆகையினால், நிறமாலையைக்கொண்டு எவ்வளவு பொருள் இருக்கின்றது என்பதை நிர்ணயித்துவிடலாம். இதனால் அண்டத்தின் உறுப்புகளின் தூரங்களை அளந்துவிடலாம்.

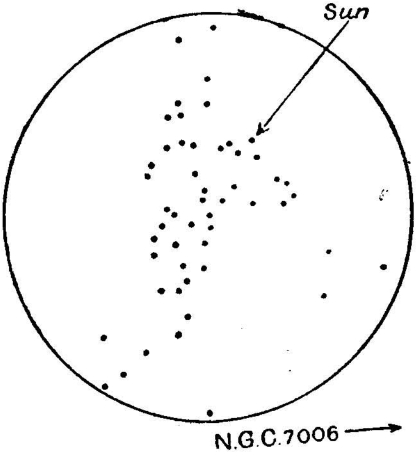
உருண்டைக் கொத்துகள் (Globular Clusters)

முதன்முதலில் ஹெர்ட்ஸ்ப்ரூங் (Hertzsprung) என்பவர் மெகலனிக் மேகத்தின் தூரத்தைக் கண்டுபிடிக்க ஸீபைடுகளின் வெளிச்ச விதியைப் பயன்படுத்தினார். இதுதான் இந்த விதியைக் கண்டுபிடித்ததற்கு ஆதாரமாகும். ஷேப்லீ (Shapley) என்பவர் இதே விதியைப் பயன்படுத்தி உருண்டைக் கொத்துகள் என்று சொல்லப்படும் விண்மீன்களின் தூரங்களைக் கண்டுபிடித்தார். இவைகளுக்கு உதாரணம் ஒளிப்படம் XIV-லில் கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. இவைகளில் 100 கொத்துகள் (ஏறக்குறைய) கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. தோற்றப் பரிமாணங்களிலுள்ள வித்தியாசங்களைத்தவிர இவை எல்லாம் கிட்டத்தட்ட ஒரேமாதிரியாக இருக்கின்றன. இந்த

வித்தியாசத்திற்குக் காரணம் அவைகளின் தூரம் என்று சொல்லலாம். உருண்டைக் கொத்துகள் எல்லாம் கிட்டத்தட்ட ஒரேமாதிரி பொருள்கள் தாம். ஒளிப்படம் XIV-வில் கொடுக்கப்பட்டிருப்பது இவைகளில் ஏதாவது ஒன்றைக் குறிப்பதாக வைத்துக்கொள்ளலாம்.

இவைகளில் ஸீபைட் மாறிகள் அதிகம் இருப்பதனால் புவியிலிருந்து அவைகளின் தூரத்தை—சரியாக இல்லாவிட்டாலும் முன்னமே சொன்ன அளவில்—கண்டுபிடித்துவிடலாம். ω ஸென்டாரி என்ற கொத்து கிட்டத்தட்ட 22,000 ஒளி ஆண்டு தூரத்தில் இருக்கின்றது. நமக்கு மிக அருகிலுள்ள 47 டௌகனி (47 Toucani) என்பது இதை விட இன்னும் 3 சதவீதம் அதிக தூரம் உள்ளது. நமக்குத் தெரிந்த வரையில் மிக அதிக தூரத்திலுள்ள என்.ஜி.ஸி. (N.G.C.) 7006 என்பது 186,000 ஒளி ஆண்டு தூரத்தில் உள்ளது. இந்த தூரத்தை பாரலக்டிக் முறையில் அளக்கவே முடியாது. 186,000 ஒளி ஆண்டு தூரத்திலுள்ள ஒரு விண்மீனின் சுற்றுப்பாதை பாரலக்டிக் முறையில் நிர்ணயிக்கப்பட்டதாயின் அஃது அட்லான்டிக் கடலின் மறுபக்கத்தி லுள்ள ஒரு குண்டூசியின் தலை அளவு இருக்கும். புவியிலுள்ள தொலை நோக்கி எதனாலும் இந்தச் சுற்றுப்பாதையைக் கண்டுபிடிக்க முடியாது. இதை அளப்பதென்பது முடியாத செயல். 186,000 ஒளி ஆண்டு என்பது நமக்கு மிகத் தொலைவிலுள்ள விண்மீன் கொத்துகளின் தூரத்தைப்பற்றிச் சரியான விளக்கத்தைக் கொடுக்காது. இதை இன்னொரு முறையில் சொல்லப்போனால் ஆதியில் தோன்றிய மனிதன் புவியில் சுற்றித் திரியும்பொழுது இதன் ஒளி இதைவிட்டுப் புறப்பட்டு இருக்கவேண்டும். அதைத்தான் நாம் இப்பொழுது காண்கிறோம். குழந்தைப் பருவத்திலிருந்து வாலிபப் பருவத்தை அடைந்து, இதி லிருந்து முதுமை அடைந்து வாழும் பல பரம்பரை காலமாக, சரித்திரத் திற்குமுன் நீண்டகாலமாக நாகரீகம் ஏற்பட்ட காலத்திலிருந்து சரித்திர கால முழுவதும், பல அரசகால முழுவதிலும், சாம்ராஜ்ய கால முழுவதி லும், கடந்த காலங்களில் ஒளி பிரயாணத்தைத் தொடங்கி நொடிக்கு 186,000 மைல்கள் வீதம் பிரயாணம் செய்து இப்பொழுதுதான் நம்மை வந்து அடைந்திருக்கிறது. இந்த தூரங்கூடப் பேரண்டத்தின் அளவில் மிகச் சிறியதாகும். அண்டத்தின் எல்லையிலுங்கூட நாம் முற்றிலும் புகுந்திருக்கமாட்டோம். ஷேப்லீ என்பவர் உருண்டைக் கொத்துகளின் பகுதிகளை முற்றிலும் வரைந்திருக்கிறார். இது பால்மண்டலத்தின் மட்டதளத்தில் இருபுறமும் நீண்ட வடிவத்தில் பரவி இருக்கிறது. இந்த நீண்ட வடிவத்தின் இரண்டு பெரிய விட்டங்களும் இந்த மட்டதளத்தில் தான் இருக்கின்றன. இதற்குச் செங்குத்தான விட்டங்கள் மிகவும் சிறியனவாகும். இந்தக் கொத்துகளின் பொது அமைப்பு 9ஆம் படத் தில் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. இதில் புத்தகத்தின் பக்கம்தான் பால் மண்டலமாகும். இதிலுள்ள புள்ளிகள் பலவிதக் கொத்துகளின் அருகி

லுள்ள புள்ளிகளைக் குறிக்கின்றன. ஆகையினால், இந்தப் படத்தில் காண்பது வானவெளியில் அண்டத்தின் மட்டதளத்திற்குச் செங்குத்தான திசையிலிருந்து பார்க்கும் ஒரு பார்வையாளனுக்குத் தோன்றும் உருவமாகும். என்.ஜி.ஸி. 7006 கொத்தைத் தவிர மற்ற எல்லாக் கொத்துகளும் 115,000 ஒளி ஆண்டு அரைவிட்டத்தையுடைய ஒரு வட்டத்தினுள் இருக்கின்றன. இந்த வட்டத்தின் மையம் ஞாயிற்றிலிருந்து 50,000 ஒளி ஆண்டு தூரத்தில் இருக்கின்றது. படத்திலிருந்து



படம் 9. உருண்டைக் கொத்துகளின் அமைப்பு

இந்த அமைப்பு வட்டத்தின் ஒரு விட்டத்தின் இரு பக்கங்களிலும் சமமாகப் பரவி இருக்கின்றது. இந்தக்கோடு அண்டத்தின் தீர்க்க ரேகை 125°-க்கு நேராக உள்ளதாகும். ஞாயிறு இந்தக் கொத்துகள் உள்ள பகுதியின் எல்லையில் இருக்கிறது. ஆகையினால்தான் புவியிலிருந்து பார்க்கும்பொழுது இந்தக் கொத்துகள் வானத்தில் ஒரு பாதியில்மட்டும் இருப்பதாகக் காணப்படுகின்றன. உண்மையில் இவைகளில் அநேகம் 130° அண்ட தீர்க்கரேகைக்குள் இருக்கின்றன (235°-லிருந்து 5° வரையில்). இதில் இரண்டு 152° அட்சரேகைக்குள் அதாவது 41°-லிருந்து 193°-க்குள் இருக்கின்றன.

அண்டக் குடும்பத்தின் அமைப்பு

இதிலிருந்து நமக்கு இந்த உருண்டைக் கொத்துகளின் பகுதிகள் அண்டத்தின் பகுதியோடு ஒட்டி இருக்கின்றன என்று தெரிகின்றது. அண்டத்தின் மையம் ஸெகடேரியஸ் (Sagittarius—Plate IV) என்ற விண்மீன் மண்டலத்தில் உள்ள ஒரு விண்மீன் மேகத்திற்குள் (star-cloud) இருக்கின்றது என்பதற்கு அதிக ஆதாரம் இருக்கின்றது. இந்த விண்மீன் மேகத்தின் தூரம் 47,000 ஒளி ஆண்டுகள் என்று

ஹார்வார்டு சோதனைக்கூடத்தில் நிர்ணயிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது 9ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டபடி உருண்டைக் கொத்துகளின் குடும்பத்தில் நடுப்பகுதியில் உள்ளது. இதுவும் இதுபோல இன்னும் பின்பு நாம் கொடுக்கப்போகும் ஆதாரங்களும் ஞாயிறு அண்டக் குடும்பத்தின் மையத்திலிருந்து 40,000 ஒளி ஆண்டுகள் தூரத்தில் இருக்கின்றது என்பதைக் காட்டுகின்றது. இப்படியிருக்க, ஹெர்ஷலும் கப்டேனும், ஞாயிறு அண்டத்தின் மையத்தில் இருக்கின்றது என்று எப்படித் தவருகக் கூறினுர்கள்?

வானவெளியில் உட்கொள்ளும் பொருள்

ஒளிப்படங்கள் II, IX-ல் காட்டப்பட்டிருப்பதுபோல் வானத்தில் சில பகுதிகளில் விண்மீன்களைக் காணமுடியாத வண்ணம் ஒருவகை மறைபொருள் சூழ்ந்திருக்கிறது என்பதை முன்பே பார்த்தோம். ஆனுல், இந்தமாதிரி பகுதிகள் மிகக் குறைவு; இருந்தாலும் வானத்தில் எந்தப் பகுதியும் மறைபொருள் இல்லாததாக இல்லை. இஃது ஒளியை முற்றிலும் மறைக்காவிட்டாலும் விண்மீனின் வெளிச்சத்தைக் குறைக்கின்றது. ஆகையினுல், ஒருவித மூடுபனியினுல் மூடப்பட்டுக் காணமுடியாத அளவில் அதிக தூரத்திலுள்ள சில பொருள்களும், முழு வெளிச்சத்துடன் காணமுடியாமலிருக்கும் சில பொருள்களும் உள்ள ஒரு பகுதியில் நாம் வாழ்கிருேம். ஒரு மூடுபனி தினத்தன்று நாம் வெளியே நடந்தால் எந்தப் பக்கத்தில் பார்த்தாலும் நம் பார்வை ஒரே தூரத்தில்தான் இருக்கும். இதனுல் நாம் ஒரு சூழ்நிலையின் மத்தியில் இருக்கின்ருேம் என்று தவருக நினைக்கும்படி ஆகும். இதனுல்தான் ஹெர்ஷலும், கப்டேனும், நாம் அண்டத்தின் மையத்தில் இருக்கின்ருேம் என்று நினைத்தார்கள்.

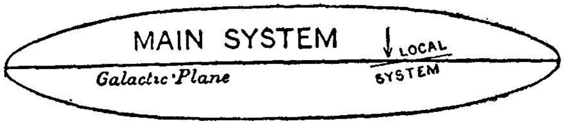
வானமூடுபனி அண்டத்தின் தளமட்டத்தில் மிகவும் அடர்த்தியாக இருக்கின்றது என்று நாம் எதிர்பார்க்கலாம். இங்கு ஒளி 3000 ஆண்டுகள் மூடுபனியில் பிரயாணம் செய்தபிறகு அரைமடங்கு வெளிச்சத்தை உடையதாகிறது—அதாவது 3000 ஒளி ஆண்டுகள் கனமுள்ள மூடுபனியில் புகுந்து சென்ற பிறகு நமக்கும் அண்டத்தின் மத்திய பாகத்திற்கும் உள்ள 40,000 ஒளி ஆண்டுகள் தூரத்தைக் கடந்த பிறகு ஒளி முன்பைவிட 10,000-த்தில் ஒரு மடங்கு ஒளியையுடையதாகும். இதனுல் அண்டப் பொருள்கள் அநேகம் பார்க்கமுடியாமல் இருக்கும். இஃது ஒரு பொருளும் அங்கே இல்லாததனுல் ஏற்படுவது அன்று. ஒளி மழுங்கி நாம் காணமுடியாமல் இருப்பதனுல்தான் இந்த நிலை ஏற்படுகிறது.

ஆகையினுல், மங்கலான பொருள்களின் தூரத்தைக் குறைக்கும்படி ஆயிற்று. முன்பு மங்கலான பொருள்களெல்லாம் அதிக தூரத்தில்

இருப்பதனால்தான் அவ்வாறு காணப்படுகின்றன என்று நினைக்கப்பட்டது. ஆகையினால், ஒரு விண்மீனின் வெளிச்ச அளவு தெரிந்தால் அதன் தூரத்தை அதன் மங்கிய ஒளியிலிருந்து கணக்கிட்டு வந்தார்கள். ஆனால், இப்பொழுது மங்கல் இரண்டு காரணங்களினால்தான் ஏற்படுகின்றது என்றும் ஒவ்வொன்றும் எவ்வளவு மங்கலைக் கொடுக்கின்றது என்பதைக் கணக்கிட முடியாத நிலையில் இருக்கின்றோம் என்றும் சொல்லலாம். ஆனால், மிகத் தொலைவில் இருக்கின்றன என்று நாம் நினைத்த பொருள்கள் எல்லாம் உண்மையில் மிக அண்மையிலே இருக்கின்றன என்று தெரிகிறது.

விண்மீன்களின் உட்குடும்பங்கள்
(The Local System of Stars)

சில காலம் ஞாயிறு அண்டத்தின் மத்தியில் இருக்கின்றது என்று நினைத்ததற்கு மற்றொரு காரணமும் கொடுக்கப்பட்டது. அநேக வான நூல் அறிஞர்கள் பல மிலியன்கள் அளவில் ஒன்றுகூடிய விண்மீன் குடும்பங்கள் ஞாயிற்றைச் சுற்றி அமைந்திருக்கின்றன என்றும் இவை சராசரியைவிட அதிக ஒளியை உடையனவாக இருக்கின்றன என்றும் நினைத்தார்கள். அவர்கள் இதை உட்குடும்பங்கள் (local system) அல்லது உட்கொத்துகள் (local cluster) என்று அழைத்தனர். இஃது அண்டத்தின் பெரும் பகுதியைப்போல் தட்டையாக இருக்கின்றது என்றும், அண்ட மட்டதளத்தில் இல்லாமல் அதற்கு 12° சாயுமானத்தில் இருக்கின்றது என்றும் நினைத்தார்கள். அண்டக் குடும்பத்தின் மத்திய மட்டதளத்தின் அருகில்தான் ஞாயிறு இருக்கின்றது என்பதில் ஐயமே கிடையாது. ஸீயர்ஸ் (Seares) என்பவர் இது 25 ஒளி ஆண்டு தூரத்திற்குமேல் இருக்கமுடியாது என்று காண்பித்திருக்கிறார். ஆனால், இது தென்புறமா அல்லது வடபுறமா என்பது தெரியவில்லை. ஒரு கணக்கீட்டின்படி ஞாயிறு மத்திய மட்டதளத்திலிருந்து



படம் 10. அண்டக் குடும்பத்தின் குறுக்குத் தோற்றம்.
ஞாயிறு அம்பின் தலையில் உள்ளது.

150 ஒளி ஆண்டுகள் வடபுறமாக இருந்ததாக நிர்ணயிக்கப்பட்டு இருக்கிறது. 10ஆம் படத்தில் அஃது எப்படி இருக்கலாம் என்பது காட்டப்பட்டிருக்கிறது. இந்த உட்கொத்துக் குடும்பங்களை அண்டக் குடும்பங்கள் என்று நினைத்ததனால்தான் அண்டத்தின் அமைப்பைப்பற்றித் தவறான கருத்துகள் கொடுக்கப்பட்டன.

தற்பொழுது இந்த உட்கொத்துகள் உண்மையில் இருக்கின்றனவா என்பதே சந்தேகமாக இருக்கிறது. அண்டத்தின் மூடுபனியே மேற்சொன்ன கொத்துகள் இருக்கின்றன என்ற தவருன கருத்துக்குக் காரணமாகும். தொலைவிலுள்ள விண்மீன்களைத் தவிர்த்து அருகிலுள்ள விண்மீன்களைமட்டும் எடுத்துக்கொண்டால் நாம் அண்டத்தின் நடுப்புறத்தில் விண்மீன்கள் மிகவும் பிரகாசமாயும் அதிக அளவிலும் காணப்படும் பகுதியில் இருக்கின்ருேம் என்று கருதுவோம். பாக் (Bok), இன்னும் மற்றவர்களும் அண்ட மூடுபனியின் தற்போதைய கருத்தை வைத்து உட்கொத்துகள் இருக்கின்றன என்று நம்புகின்றனர். பாக் என்பவர் இதன் விட்டத்தை 5000 ஒளி ஆண்டுகள் என்று மதிப்பிடுகிருர்; மற்ருெருபுறம் ஊர்ட் (Oort) என்பவர் அண்ட மூடுபனியை வேறு விதத்தில் ஆராய்ந்து ஞாயிற்றுக் கருகிலுள்ள விண்மீன்கள் அதிக அளவிலில்லை என்றும் எண்ணிக்கை மிகவும் குறைவாகவே இருக்கின்றன என்றும் கருதுகிருர். நாம் விண்மீன்கள் நிறைந்த பாகத்தில் இல்லை என்றும், விண்மீன்கள் குறைந்த பாகத்திலேயே இருக்கின்ருேம் என்றும் கருதுகிருர். அண்ட மூடுபனி அதிக அளவு மறைக்க முடியாது என்று வைத்தாலும் உள் விண்மீன்கள் அதிக அளவு காணப்படும் என்று சொல்லலாம். இதற்கெதிராக அண்ட மூடுபனியின் அடர்த்தியை மற்ற வானநூல் அறிஞர்களின் மதிப்பீடுகளைக்காட்டிலும் குறைந்ததாக மதிப்பிட்டிருப்பது கவனிக்கவேண்டியதாகும்.

இப்படியிருப்பினும், உள் விண்மீன் கொத்துகளின் இருப்பிற்கு நேர்முக ஆதாரங்கள் உறுதியாக இல்லை. இதன் காரணமாகவும் நாம் இதை அடுத்து சொல்லப்போகும் மற்ருெரு காரணத்தினுலும் மேற்சொன்ன கொத்துகள் இருக்கின்றன என்பதை அடியோடு உண்மை அன்று என்று தள்ளுபடி செய்யவேண்டும்.

அண்டத்தின் சுழற்சி

ஏற்கெனவே அண்டத்தை ஒரு சக்கரத்திற்கு ஒப்பிட்டிருக்கிருேம். விண்மீன்கள் அசையாமல் அப்படியே இருந்தால் இந்த அமைப்பு மாருமல் இருக்காது. ஏனென்ருல் உட்புறமுள்ள விண்மீன்கள் வெளிப்புறமுள்ள விண்மீன்களை—அதாவது சக்கரத்தின் விளிம்பிலுள்ள விண்மீன்களை—ஈர்ப்பு ஆற்றலினுல் இழுத்து அவைகளைச் சக்கரத்தின் நடுப்புறத்திற்குக் கொண்டு சேர்த்து அங்கே ஒரு குழப்பமான அமைப்பை ஏற்படுத்திவிடும். 1913ஆம் ஆண்டு பாய்ங்கரே (Poincaré) என்பவர் அண்டச் சக்கரம் சுற்றிக்கொண்டே இருந்தால் மேற்சொன்ன குழப்பம் ஏற்படுவதைத் தவிர்க்கலாம் என்று தெரிவித்தார். இது புவி அதன் சுழற்சியினுல் ஞாயிற்றினிடம் இழுக்கப்படாது இருப்பதுபோல் ஆகும். இன்னும் பொருத்தமான உவமை சனியின் வளையத்திலுள்ள

துகள்கள் அந்த வளையத்தின் சுழற்சியினால் சனியின்மேல் விழாது இருப்பதுபோல் ஆகும். ஆகையினால்தான் சக்கரம் அப்படியே சுற்றிக் கொண்டிருந்தால் அதன் விளிம்பிலுள்ள விண்மீன்கள் நடுப்பகுதிக்குத் தள்ளப்படாமல் இருக்கும் என்று பாய்ங்கரே கருதினார். ஒரு தோராய மான கணக்கின்படி இந்தச் சக்கரம் 500 மிலியன் ஆண்டுகளுக்கு ஒரு முறை சுற்றிவரவேண்டும் என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டிருக்கிறது.

இவ்வளவு நிதானமான சுழற்சியைக் கண்டுபிடிப்பது கடினம். முதலில் இது பின்வருமாறு ஏற்படலாம் என்று நம்பப்பட்டது. ஒரு சுழலும் பம்பரத்தையோ கைராஸ்கோப்பையோ(gyroscope) வெளியில் (space) இழுப்பதற்கு அதிக ஆற்றல் வேண்டுமென்பது நமக்குத் தெரியும். இந்த உண்மைதான் கப்பல்களைக் கடலில் செலுத்தப் பயன் படும் கைராஸ்கோப் திசைகாட்டியில் (gyroscopic compass) பயன் படுத்தப்படுகிறது. கைராஸ்கோப் என்பது எஃகால் செய்யப்பட்ட ஒரு பெரிய பம்பரமாகும். இதில் இரண்டு பக்கங்கள் ஓர் ஊசலாடும் சட்டத்தினுள் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். ஆகையினால் கப்பல் எப்படித் திரும்பினாலும் இந்தச் சட்டம் ஒரேதிசையை நோக்கி இருக்கும். இந்தக் குறித்த திசையைக்கொண்டு கப்பலைக் கடலில் செலுத்தலாம். ஞாயிற்றுக் குடும்பம் ஒரு பெரிய பம்பரத்தைப்போன்றது ஆகும். இதில் கோள்களின் சுழற்சி பம்பரத்தின் சுழற்சிக்கு ஈடாகும். இந்தப் பம்பரத்தை ஒருவித ஆற்றலும் வெளியிலிருந்து சுழலச் செய்யவில்லை. ஆகையினால், இதன் சுழற்சி அச்சு ஒரே திசையில்தான் இருக்க வேண்டும். இது வானவெளியில் நம்முடைய திசையைக் காட்ட ஒரு கைராஸ்கோப் திசைகாட்டியாகும்.

இந்தத் திசைகாட்டி பால் மண்டலத்தின் முன்னணியில் 370 மிலியன் ஆண்டுகளுக்கு ஒருமுறை சுற்றிவருகின்றது என்று 1913ஆம் ஆண்டு சார்லியர் (Charlier) என்பவர் கருதினார். இதற்குப் பிறகு இந்தப் பொழுதை 530 மிலியன் ஆண்டுகளுக்கு ஒருமுறை சுழலு கின்றது என்று கணக்கிட்டிருக்கின்றார்கள். எடிங்டன் (Eddington) என்பவர் பின்னணியான பால் மண்டலம்தான் பாய்ங்கரே நினைத்தபடி சுழன்றுகொண்டு இருக்கலாம் என்றும் இதன் சுழற்சி வேகம் பாய்ங்கரே கொடுத்த அளவிலேயிருக்கும் என்றும் கருதினார்.

சமீபத்தில் ஊர்ட், ப்ளாஸ்கெட் (Plaskett), லிண்டுப்ளாட் (Lind-blad) என்பவர்களின் ஆராய்ச்சியிலிருந்து மேற்சொன்னவாறு சுழற்சி ஏற்படுகின்றது என்பது தெளிவாகிறது. ஆனால், இந்தச் சுழற்சி சாதாரண வண்டிச் சக்கரத்தின் சுழற்சியைப்போல் எளிதானதன்று. ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தில் மிகவும் உட்புறமுள்ள கோள்கள் வெளிப் புறமுள்ள கோள்களைவிட அதிக வேகமாக இயங்கும். இப்படிச் சென்றால்தான் ஞாயிற்றின் ஈர்ப்பு ஆற்றலைத் தடுக்கமுடியும். ஏன்

என்றால் ஞாயிற்றின் அண்மையில்தான் இந்த ஆற்றல் அதிகமாக இருக்கும். இதேபோல் அண்டத்தின் சுழற்சி அதன் மத்தியிலுள்ள விண்மீன்களின் ஈர்ப்பு ஆற்றலைத் தடுக்கவேண்டும் என்றால் அண்டத்தின் நடுப்புறம் வெளிப்புறத்தைக் காட்டிலும் அதிக வேகமாகச் சுழல வேண்டும். ஆகையினால், அண்டச் சக்கரத்தின் இந்தப் பகுதிக்கு வெளியிலிருக்கும் விண்மீன்களைவிட ஞாயிறு அதிக.வேகமாகச் சென்று இவைகளைக் கடந்து முன் செல்லவேண்டும். அதேசமயத்தில் இதற்கு உட்புறமுள்ள பகுதிகளில் உள்ள விண்மீன்கள் ஞாயிற்றைக் கடந்து முன் செல்லவேண்டும். விண்மீன்களின் இயக்கத்தை நுட்பமாக ஆராய்ந்ததில் இந்தமாதிரியான இயக்கம் ஏற்படுகின்றது என்பது தெரிந்தது.

முதலில் விண்மீன்கள் முறையின்றி இயங்கியதாகத் தென்பட்டது—எல்லாத் திசைகளிலும் எல்லாவித வேகங்களிலும் செல்வதாகத் தென்பட்டது. விண்மீன்களைத் தனித்தனியாக எடுத்துக்கொள்ளாமல் வானவெளியில் ஒன்றுக்கொன்று அருகில் இருக்கும் கூட்டங்களாக எடுத்துக்கொண்டு, இந்தக் கூட்டங்கள் ஒவ்வொன்றின் இயக்கத்தையும் கண்டுபிடிப்போம். அப்பொழுது எல்லாக் கூட்டங்களும் ஒரு மையத்தைச் சுற்றி வருவதாகத் தெரியவரும். இந்த மையம், ஷேப்லீ என்பவர் உருண்டைக் கொத்துகளின் ஆராய்ச்சியிலிருந்து அண்டத்தின் மையத்தை நிர்ணயித்த திசையிலேயே இருக்கின்றது என்பதை அறிவோம். இந்த இயக்கத்தின் அளவை ஏறக்குறைய சரியாக அளந்து விடலாம். இந்த அளவிலிருந்து நாம் சொன்னபடி அண்டத்தின் உட்புறம் அண்டத்தின் வெளிப்புறத்தைவிடச் சற்று வேகமாகச் சுற்றுகின்றது என்று தெரிகின்றது. அண்டத்தின் மையத்தைச் சுற்றி விண்மீன்களின் சராசரி வேகம் 200 ஒளி ஆண்டுகளுக்கு 1 கிலோ மீட்டர் அதிகரிக்கின்றது.

இந்தக் கணக்கிலிருந்து ஞாயிறு அண்டத்தின் மையத்தை ஒரு முறை சுற்றிவர 250 மிலியன் ஆண்டுகளாகும் என்று எளிதாகச் சொல்லலாம். புவியின் வயது 3000 மிலியன் ஆண்டுகள் ஆகையினால் இந்தக் குறிப்பிட்ட காலத்தில் ஞாயிறு அண்டத்தின் மையத்தைச் சுற்றி 1 டஜன் தடவையாவது சென்று இருக்கவேண்டும்.

இந்தக் காரணத்தினால் உட்கொத்துகள் இருக்கின்றன என்பதை நம்பவே முடியவில்லை. ஏனென்றால் இந்தக் கொத்துகளின் பல பாகங்கள் அவைகளின் தூரத்திற்கேற்ப வெவ்வேறு வேகங்களில் சுற்றி வரும். ஆகையினால், ஒரு சில சுழற்சிகளுக்குப் பிறகு இதிலுள்ள விண்மீன்கள் அண்டத்தின் முழுவதிலுமே பரவி இருக்கும். ஆகையினால், இந்தமாதிரி கொத்துகள் நிரந்தரமாக இருக்கமுடியாது.

இன்னும் அண்டத்தின் சுழற்சியைப்பற்றி அதிக தகவல்கள் தெரிய வேண்டுமென்றால் இன்னொரு தரவு (datum) வேண்டும். உதாரண

மாக, ஞாயிற்றினுடைய உண்மை வேகம்; இதை அளப்பதற்கு ஒரு குறித்த அளவுமுறை வேண்டும். உதாரணமாக, உருண்டைக் கொத்துகளில் மிகவும் அதிக தூரத்தில் உள்ளதை எடுத்துக்கொள்ளலாம். ஏனென்றால் இவை அதிக தூரத்தில் இருப்பதனால் ஞாயிறு அவ்வளவு வேகத்தில் சுழலமுடியாது. ஞாயிறு இந்தக் கொத்துகளை நோக்கியோ அல்லது இந்தக் கொத்துகளைவிட்டு அகன்றோ என்ன வேகத்தில் செல்லுகின்றது என்பதை நிறமாலைச் சோதனையினால் கண்டுபிடித்தால், இதிலிருந்து ஞாயிற்றின் அண்மையிலுள்ள விண்மீன் கூட்டங்கள் ஒரு நொடிக்கு 270 கிலோ மீட்டர்கள் வீதம் அண்டத்தின் மையத்தைச் சுற்றிவருகின்றன என்று தெரியும். இதிலிருந்து ஓர் எளிய கணக்கீட்டின்மூலம் இதன் சுற்றுப்பாதையின் நீளம் 230,000 ஒளி ஆண்டுகள் என்றும் இதன் அரை விட்டம்—அதாவது அண்டத்தின் மையத்திலிருந்து ஞாயிற்றின் தூரம்—36,000 ஒளி ஆண்டுகளாகும் என்றும் தெரிகின்றது.

இந்தக் கணக்கு மிகவும் சரியானது என்று சொல்லமுடியாது. அதிகப்படி இஃது ஒரு கீழ்வரம்பு என்றுதான் சொல்லமுடியும். தூரத்திலுள்ள உருண்டைக் கொத்துகள் ஞாயிற்றைச் சுற்றிச் சுழலும் வேகம் உடையனவாக இருக்கலாம். ஆகையினால், நாம் கணக்கிட்ட நொடிக்கு 270 கிலோ மீட்டர் வேகத்தோடு இந்த வேகத்தையும் சேர்க்கவேண்டும். ஸ்ட்ரோம்பர்க் (Stromberg) என்பவர் ஞாயிற்றின் வேகத்தைத் தனிச்சிறப்பு அண்ட நெபுலாக்களில் மிக அருகில் உள்ளவைகளை எடுத்துக்கொண்டு, இதிலிருந்து ஞாயிற்றின் வேகத்தைக் கணக்கிட்டதில் இஃது ஒரு நொடிக்கு 360-லிருந்து 500 கிலோ மீட்டர் வரம்பில் இருந்தது என்று கண்டறிந்தார்.

ஞாயிற்றின் வேகத்தில் கணக்கீடு அதிகமாக இருந்தால் அதன் சுற்றுப்பாதையின் அளவும் அதிகமாகும். ஆகையினால், அண்டத்தின் மையத்திலிருந்து ஞாயிற்றின் தூரமும் அதிகமாகும். இந்த அளவில் 36,000 ஒளி ஆண்டுகள் என்று கணக்கிடப்பட்ட தூரம், ஏற்கெனவே கணக்கிடப்பட்ட மதிப்பீடுகளான 50,000, 47,000 ஒளி ஆண்டுகளோடு ஒத்து இருக்கின்றது என்று கருதவேண்டும்.

ஞாயிற்றின் சுற்றுப்பாதை அளவிலிருந்து மற்ற விண்மீன்கள் எந்த அளவு ஈர்ப்பு ஆற்றலினால் ஞாயிற்றை அந்தச் சுற்றுப்பாதையில் செலுத்துகிறது என்பதைக் கணக்கிட்டுவிடலாம். வியாழனின் எடையை அதன் துணைக்கோள்களின் இயக்கத்திலிருந்து எப்படி கண்டுபிடிக்கலாமோ அதைப்போல் ஞாயிற்றின் சுற்றுப்பாதையினுள் உள்ள பொருளின் எடையைக் கண்டுபிடித்துவிடலாம். ஞாயிற்றின் சுற்றுப்பாதையில் உள்ள பொருள்களின் எடை சுமார் 150,000 மில்லியன் ஞாயிறுகளுக்குச் சமமாகும் என்று தெரிகிறது. அண்டத்தின்

எடையைப்பற்றிய இதர கணக்கீடுகள் ஏறக்குறைய இதே அளவில்தான் இருக்கின்றன. லிண்ட்ப்ளாட் என்பவரால் எடுக்கப்பட்ட கணக்கு இந்த எடையை இரு முறைகளில், முறையே 110,000, 186,000 மிலியன் ஞாயிறுகளுக்குச் சமமென்று காண்பிக்கின்றன. இதில் ஒருபகுதி விண்மீன்களின் இடைவெளிகளில் தூசுகளினலும் வாயுக்களினலும் ஏற்பட்டனவாக இருக்கலாம். இருந்தாலும், ஒரு சாதாரண விண்மீன் ஞாயிற்றில் அரைப்பங்கு எடையையுடையதாக இருப்பதால் அண்டக் குடும்பத்தில் சுமார் 300,000 மிலியன் விண்மீன்கள் உள்ளன என்று சொல்லலாம். இந்தக் கணக்கில் வெளிச்சமுள்ள விண்மீன்கள் மற்றும் இருண்ட விண்மீன்கள் இரண்டும் சேர்க்கப்பட்டிருக்கின்றன.

மறுபடியும் இவ்வளவு பெரிய எண்ணை எப்படி நினைத்துப் பார்ப்பது என்ற பிரச்சினை ஏற்படுகிறது. நிலவில்லாத இரவன்று நல்ல பார்வையுள்ள கண்களினல் சுமார் 3000 விண்மீன்களைப் பார்க்கலாம். 3000 விண்மீன்களில் ஒவ்வொன்றும் 3000 புது விண்மீன்களோடு வான முழுவதும் பரவியிருப்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். அப்படி இருந்தால் கூட இந்த எண் 5 அங்குலங்கள் துளையுள்ள தொலைநோக்கியின்மூலம் காணும் விண்மீன்களின் எண்ணிக்கையாகும். இப்படி நினைத்தால் மறுபடியும் நம் கற்பனையை இரண்டாம் முறை இதேமாதிரி சோதிக்க முடியாது. ஏனென்றல் இந்த 9 மிலியன் விண்மீன்களையும் மறுபடியும் வான முழுவதும் முன்போலவே பரவச்செய்தால் அப்படியும் நாம் காணக்கூடியது 27,000 மிலியன் விண்மீன்களேயாகும். இஃது அண்டத்திலுள்ள விண்மீன்களின் தொகைக்கு மிகக் குறைந்த அளவாகும். 100 அங்குலங்கள் துளையுள்ள ஒரு தொலைநோக்கி மூலம் காணக்கூடியது 1500 மிலியன் விண்மீன்களாகும். இஃது புவியிலுள்ள ஆண், பெண், குழந்தைகள் இவர்களின் மொத்தத் தொகையாகும் என்பதை உணர்வோமாக. அப்பொழுது புவியிலுள்ள ஒவ்வொருவரும்—மனிதன், பெண், குழந்தை இப்படியாக ஐந்து கண்டங்களிலும் வாழ்பவர்களும் 7 கடல்களில் பிரயாணம் செய்பவர்களும்—தனக்கென்று பிரத்தியேகமாக ஒரு விண்மீனைத் தேர்ந்து எடுத்துக்கொண்டால், இதைப்போல 10 தரமோ அல்லது 100 தரமோ மறுபடியும் மறுபடியும் தனக்கென்று ஒரு விண்மீனை எடுத்துக்கொள்ளலாம். அப்படிச் செய்தாலும் அண்டத்திலுள்ள விண்மீன்கள் எல்லாவற்றையும் எடுத்துக்கொள்ள முடியாது.

இப்படிச் செய்து முடித்தால்கூட அண்டக் குடும்பத்திற்கு வெளியில் இன்னும் ஏராளமான விண்மீன்கள் இருக்கும். எப்படி இங்கிலாந்து தேசத்தில் ஒரே வீட்டில், அந்த தேசத்து மக்கள் எல்லாம் இருக்க முடியாதோ அதேபோல் அண்டத்தில் பல நூறு ஆயிர மிலியன் விண்மீன்கள் இருந்தபோதிலும் அது வானவெளியிலுள்ள அத்தனை விண்மீன்களையும் உடையதாகாது. இதேபோல் விண்மீன்களுக்குப் பல

மிலியன் வீடுகளும், இதர பல விண்மீன் குடும்பங்களும் உள்ளன. இதர வீடுகள் தனிச்சிறப்பு அண்ட நெபுலாக்களாகும். இது தவிர 'பேரண்டத் தீவு' என்று ஹெர்ஷலால் அழைக்கப்பட்ட மங்கிய நெபுலப் பொருள்களாகும்.

தனிச்சிறப்பு அண்ட நெபுலாக்கள்

அண்மையிலுள்ள நெபுலாக்கள்

தற்காலத் தொலைநோக்கிகளில் மிகத்திறன்வாய்ந்த தொலைநோக்கி களால் அருகிலுள்ள நெபுலாக்களை ஆராயமுடியும். இவை ஓர் அளவு விண்மீன்களைக்கொண்ட மேகங்களால் ஆனவை. ஒரு திறன் வாய்ந்த மைக்ரோஸ்கோப்மூலம் சிகரெட் புகையைப் பார்த்தால் அது தொடர்ந் திருக்கும் துகள்களினால் ஆனது என்று தெரியவருகிறது. இதேபோல் ஒரு திறன்வாய்ந்த தொலைநோக்கி நெபுலாக்களின் வெளிப்பகுதி களிலிருந்து வரும் ஒளியைத் தனிப்பட்ட ஒளிப்புள்ளிகளாக மாற்றி விடுகின்றது. நெபுலாவைப் பளபளக்கும் துகள்களைக்கொண்ட ஒரு மேகமாகக் காண்பிக்கின்றது. மூன்று நூற்றுண்டுகளுக்குமுன் கலிலியோவின் சிறிய தொலைநோக்கி பால் மண்டலத்தை எப்படிக் காண்பித்ததோ, அதேபோல் இதைக் காண்பிக்கிறது. இதை ஏற்கெனவே ஒளிப்படம் V-ல் பார்த்தோம். இஃது ஆன்ட்ரோமீடாவில்(Andromeda) கிரேட் நெபுலா *M* 31 (Great Nebula *M* 31)-ன் மேல் இடப்புறக் கோடிப்பகுதியை விஸ்தரித்துக் காண்பிக்கிறது—ஒளிப்படம் X-ல் (Plale X) கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் படத்தில் தனித்தனியாகப் பிரிக்கப் பட்டிருக்கும் ஒளிப்புள்ளிகள் நன்ருகக் காணப்படுகின்றன. இவை களில் சிலவாகிலும் விண்மீன்களே என்று தெரிகின்றது. ஹப்பிள் (Hubble) என்பவர் இவைகளில் அநேகம் ஸீபைட் மாறிகள் என்றும் இவைகளின் வெளிச்ச ஏற்றத்தாழ்வு நமக்கு அருகிலுள்ள ஸீபைடு களின் வெளிச்ச ஏற்றத்தாழ்வினைப்போலவே இருக்கின்றது என்றும் கண்டுபிடித்திருக்கிருர். இதர ஒளிப்புள்ளிகள் ஸீபைடுகளின் ஒளியை விட அதிகம் அல்லது குறைவான வெளிச்சத்தையுடையனவாகையால், இவைகளைச் சாதாரண விண்மீன்கள் என்று சொல்லலாம். இதுமட்டு மன்றி இவைகளில் குறைந்தது 85 விண்மீன்களாவது வெடிமீன்களாக வெடித்து அண்டத்திலுள்ள வெடிமீன்களைப்போல் காணப்படுகின்றன என்று ஹப்பிள் என்பவர் கண்டுபிடித்திருக்கிருர். இது தவிர, நீண்ட கால மாறிகளைப்போன்ற விண்மீன்களையும் அண்டத்தில் காணப்படும் உருண்டைக் கொத்துகளைப்போன்ற பொருள்களையும் ஹப்பிள் கண்டிருக்கிருர். ஆகையினுல், வெளிப்புறத்தைப் பொறுத்தவரையி லாவது ஒரு விண்மீன் மேகமென்றும் அதுவும் அண்டத்தைப்போன்று இருக்கின்றது என்றும் சொல்லலாம்.

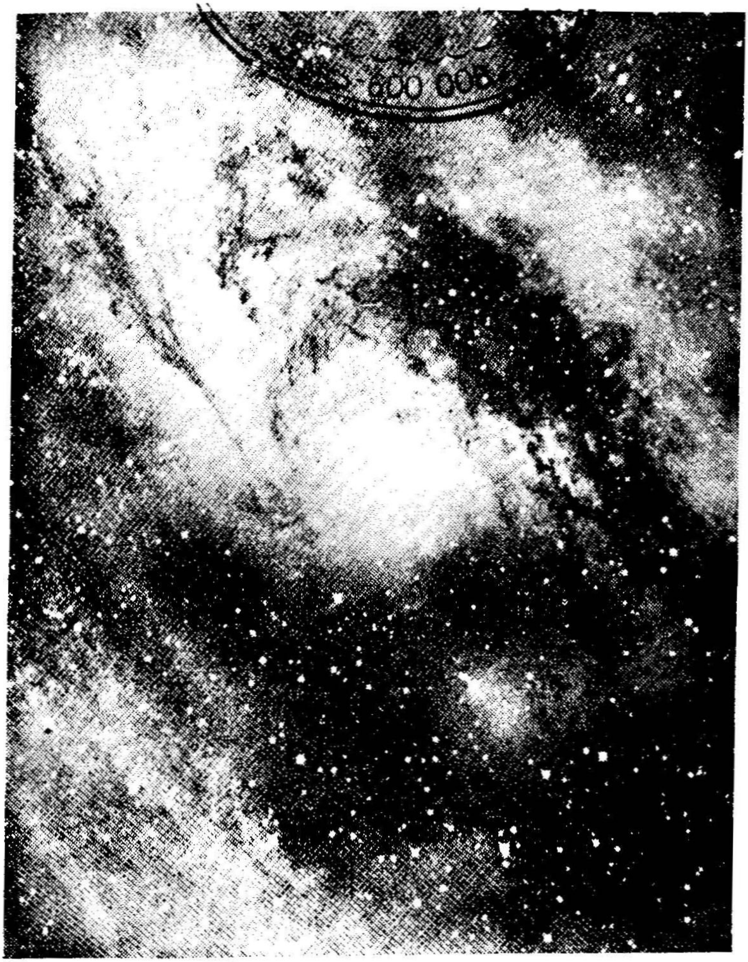
இந்த நெபுலாவின் மத்திய பாகம் ஒளிப்படம் XVII-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. இதன் அமைப்பைப்பற்றி முடிவாக ஒன்றும் தெரியவில்லை. விண்மீன்கள் ஒன்றும் இப் பகுதியில் காணப்படவில்லை. வெடிமீன்கள் ஒன்று இரண்டு காணப்படுகின்றன. மற்ற நெபுலாக்களிலும் இப் பகுதியில் விண்மீன்கள் சில காணப்பட்டன. இதற்குக் காரணம் விண்மீன்கள் இருந்தும் அவை மூடுபனியினால் மறைக்கப்பட்டதாக இருக்கலாம். அல்லது இந்த நெபுலாக்களின் மத்திய பாகம் வாயுவினால் சூழப்பட்டு விண்மீன்களாக கெட்டிப்படாமல் இருக்கலாம். நாம் யதேச்சையாகப் பார்க்கும் விண்மீன்கள் மற்றப் பகுதியிலிருந்து தவறி இங்குக் காணப்படலாம்.

உருண்டைக் கொத்துகளில் உள்ள ஸீபைட் மாறிகளின், ஒளியிலிருந்து போழ்து வெளிச்ச விதியைக்கொண்டு, இந்தக் கொத்துகளின் தூரத்தை ஷேப்லீ கண்டுபிடித்தார் என்பதைப் பார்த்தோம். ஹப்பிள் என்பவர் அருகிலுள்ள நெபுலாக்களின் தூரத்தை இம்மாதிரியே கண்டு பிடித்தார். ஷேப்லீயைப்போலவே ஹப்பிளின் கணக்கும் திருத்தப்பட வேண்டும். இதற்குக் காரணம் அண்ட மட்டதளத்தின் அருகில் மறை பொருள்கள் இருப்பதனால் ஆகும்.

எல்லா நெபுலாக்களிலும் மிக அருகிலுள்ளது ஆன்ட்ரோமீடாவில் உள்ள 'கிரேட் நெபுலா'வாகும். இதன் தூரம் 680,000 ஒளி ஆண்டுகளாகும். இது மிகத் தொலைவிலுள்ள உருண்டைக் கொத்துகளின் தூரத்தைப்போல் நான்கு மடங்காகும். தனிச்சிறப்பு அண்டங்கள், அண்டத்தைவிட்டுத் தனியாக இருப்பதனால் இந்தப் பெயர் பொருத்தமாகும்.

மிகவும் அண்மையிலுள்ள உருண்டைக் கொத்தான ω ஸென்டாரிக்கு அடுத்தாற்போல் இருப்பது 47 டௌகானி (47 Toucani) என்பதாகும் என்று ஷேப்லீ கண்டுபிடித்தார். இதேபோல்தான் நெபுலாக்களும் ஆன்ட்ரோமீடாவில் உள்ள கிரேட் நெபுலாவுக்குப் பிறகு ட்ரயாங்குலத்திலுள்ள (Triangulum) நெபுலா *M* 33 ஆகும். இவைகளை ஒளிப்படம் X-லும், XVIII-லும் காணலாம். இவைகளுக்கு இடையேயுள்ள தூரம் மிகவும் குறைந்ததாகும்.

இரட்டை விண்மீன்கள், மூன்று விண்மீன்கள்போல், இரட்டை நெபுலாக்கள், மூன்று நெபுலாக்களும் வானத்தில் இருக்கின்றன. ஒரு பெரிய நெபுலா ஒன்று அல்லது இரண்டு துணை நெபுலாக்களோடு காணப்படுவது சாதாரணமாகும். சில சமயங்களில் துணை நெபுலாக்களும், தலைமை நெபுலாக்களும் கிட்டத்தட்ட ஒரே அளவுடையதாகவும், ஒரே முக்கியத்துவமுடையதாயும் இருக்கலாம். இந்தமாதிரியான ஒரு வகையை ஒளிப்படம் XXIII-ல் காணலாம். இதற்குமுன் சொன்ன வகைக்கு உதாரணம் நம் அண்டத்திலேயே இருக்கின்றது. இதை



Mt Wilson Observatory

ஆன்ட்ரோமீடாவில் உள்ள நெபுலா *M* 31-ன் மத்தியப் பகுதி

Mt Wilson Observatory

டிரயாங்குலத்தில் நெபுலா *M* 33

முக்கிய நெபுலாவாகவும், பெரிய மெகலனிக் மேகம் சிறிய மெகலனிக் மேகம் இவை இரண்டையும் துணை நெபுலாக்கள் என்றும் ஆக இதை ஒரு மூன்று நெபுலா அமைப்பாகக் கருதலாம். ஒளிப்படம் XIII-ஐப் பார்க்கவும்.

இவை தென் அரைக்கோளத்தில் இரண்டு வட்ட மேகங்களாகக் கண்களுக்குத் தென்படும். இவை உண்மை அண்டங்களைப்போலவே சில தன்மைகளையுடையவையாகும். இதன் தூரம் நம் அண்டத்திலிருந்து 90,000 ஒளி ஆண்டுகள்தான். ஆகையினுல், இவை நம் அண்டங்களுக்கு மிக அருகிலுள்ள அண்டங்கள் என நினைக்கலாம். இவைகளின் பரிமாணத்தைக் கணக்கெடுக்காமல் கொண்டால் ஏனென்ருல் இவைகளின் விட்டங்கள் முறையே 12,000, 6000 ஒளி ஆண்டுகளாகும்.

ஆன்ட்ரோமீடா கிரேட் நெபுலாவைச் சுற்றியும் இரண்டு துணை நெபுலாக்கள் உள்ளன. இவை M 32, N.G.C. 205 எனப்படும். ஒளிப்படம் X-ல் இவைகளைக் காணலாம். முக்கிய நெபுலாவிலிருந்து இவைகளின் தூரம் சரியாகத் தெரியாது. ஆனுல், இது 5000 ஒளி ஆண்டுகள், 7,500 ஒளி ஆண்டுகளுக்குமேல் இருக்கும். இவைகளின் விட்டங்கள் முறையே 800 ஒளி ஆண்டுகளும் 1600 ஒளி ஆண்டுகளுமாகும்.

இன்னும் தொலைவிலுள்ள நெபுலாக்கள்

வானவெளியை அளக்கப் பெரிய பெரிய அளவுகோல்கள் வேண்டும் என்பதை ஏற்கெனவே பார்த்தோம். ஒரு மீட்டர்கோல், புவியின் மேற்புறத்தில் ஓர் அடிப்படைக் கோடு, புவியின் அரைவிட்டம், அருகிலுள்ள விண்மீன்களின் தூரம், ஸீபைட் மாறிகளின் தூரம் இவை ஒவ்வொன்றும் ஓரளவிற்குத்தான் பயன்படும். ஒவ்வொன்றும் அதற்கு அடுத்த அளவுகோலிற்கு விட்டுக்கொடுக்கவேண்டும். கடைசியாக ஸீபைட் மாறிகளும் அளக்கப் பயனற்றதாக இருக்கும். மிகவும் மங்கலான நெபுலாக்கள் இருக்கும் தொலைவில் ஸீபைட் மாறிகளின் ஒளி மிக மங்கலானதாக இருக்கும்.

ஸீபைட் மாறிகளுக்கு அடுத்தபடியாகப் பயன்படக்கூடிய ஓர் அளவுகோலை ஹப்பிள் கண்டுபிடித்திருக்கிருர். ஒரு நெபுலா, பார்க்க முடிந்தால், அதன் மொத்த தோற்ற ஒளியையும் அது வானத்தில் பரவி இருக்கும் பரப்பளவையும் கண்டுபிடித்துவிடலாம். ஒரு குறித்த வடிவத்திலுள்ள நெபுலாவின் மொத்த தோற்ற வெளிச்சம் அதன் பரப்பளவிற்கு ஏற்றவாறு இருக்கும் என்று ஹப்பிள் கண்டுபிடித்திருக்கிருர். ஆகையினுல், அவை ஒரு மேற்புற மூல அளவு (unit) ஒவ்வொன்றிற்கும் ஒரே வெளிச்சமுடையதாக இருக்கும். ஆகையினுல், இவைகள் இந்த

அமைப்பைச் சேர்ந்தவை என்றும் இவைகளின் தோற்ற வெளிச்சங்களுடைய வித்தியாசங்கள் இவைகளின் தூரத்தினால் ஆகும் என்றும் சொல்லலாம். ஆகையினால், மறுபடியும் கிட்டத்தட்ட ஒரே வெளிச்சமுடைய பொருள்கள் நமக்கு ஒப்பிடுவதற்குக் கிடைக்கின்றன. ஆகையினால், முன் சொன்னபடி ஒரு தனிப்பட்ட பொருளின் தூரத்தை அதன் தோற்ற வெளிச்சத்திலிருந்தோ அல்லது அதன் மங்கலிலிருந்தோ, சரியானபடி அளக்க முடிந்தால் அதன் தோற்றப் பரிமாணத்திலிருந்தோ கண்டுபிடித்துவிடலாம். உதாரணமாக, ஒளிப்படம் XIX-ல் காட்டப்பட்டிருப்பது பெகாஸஸ்ஸில் (Pegasus) உள்ள நெபுலாக் கொத்துகள் ஆகும். இத்துடன் ஒளிப்படத்தின் மையத்தில் என்.ஜி.ஸி. 7331 என்ற தனி நெபுலாவும் இருக்கின்றது. இந்தத் தனி நெபுலா பெரியதாக இருக்கின்றது. இஃது ஏறக்குறைய இதே வடிவத்திலிருக்கும் மற்றொரு நெபுலாவின் பரிமாணத்தையுடையதாக இருக்கும். இதன் விட்டம் 10 மடங்கு அதிகமாக இருப்பதால் இதன் தூரம் 10 மடங்கு குறைவாக இருக்கும்.

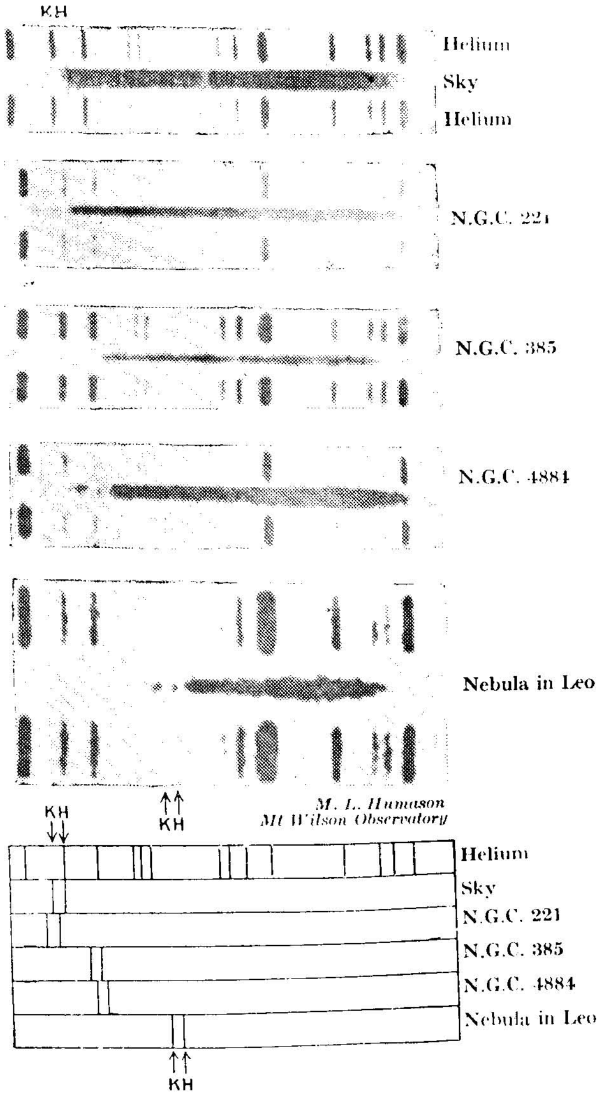
இந்த முறையில் மிகவும் மங்கலான நெபுலாக்களின் தூரத்தையும் கண்டுபிடித்துவிடலாம். வானவெளியில் நெபுலாக்களின் பரவலையும் ஆராயலாம்.

மவுன்ட் வில்ஸனில் உள்ள 100 அங்குலத் தொலைநோக்கிமூலம் மங்கலான தனிச்சிறப்பு நெபுலாக்களில் ஏறக்குறைய 2,000,000 நெபுலாக்களைக் காணலாம். அண்டக் குடும்பத்தில் விண்மீன்களின் பரவலை எப்படி ஹேர்ஷல் கண்டுபிடித்தாரோ, அதேபோல், வானவெளியில் இந்த நெபுலாக்களின் பரவலைக் கண்டுபிடிக்கலாம். நம் தொலைநோக்கியின் துளையை இரட்டிப்பாக்கினால் முன்னைவிட இரண்டு மடங்கு அதே அளவில் வானவெளியை ஆராயலாம். ஆகையினால், நெபுலாக்கள் ஒரே ரீதியாகப் பரவி இருந்தால் முன்னைவிட 8 மடங்கு நெபுலாக்களைக் காணலாம். இப்பொழுது இதுதான் நடக்கின்றது. அதிக தூரங்களில் நெபுலாக்கள் குறைவதில்லை. இவை வானத்தில் கிட்டத்தட்ட ஒரே அளவில் பரவி இருக்கின்றன. இவைகளுக்கிடையேயுள்ள சராசரி தூரம் 1,500,000 ஒளி ஆண்டுகளாகும். அங்குமிங்கும் இந்தமாதிரி சமப் பரவல் இருப்பதில்லை. நெபுலாக் கொத்துகளும் முகில் கூட்டங்களும் இன்னும் நெருங்கிய தூரத்தில் இருக்கின்றன. பெகாஸஸ் என்ற விண்மீன் மண்டலத்தில் ஓர் அடர்த்தியான விண்மீன் கொத்து இருப்பதை ஒளிப்படம் XXII-ல் காணலாம். விர்கோ (Virgo), கம பெரனிஸாஸ் (Coma Berenices) என்ற விண்மீன் மண்டலங்களில் நெபுலாக்கள் ஏராளமாய் இருக்கின்றன. இதில் ஞாயிற்றிலிருந்து 10 மிலியன் ஒளி ஆண்டுகள் தூரத்தில் 300 நெபுலாக்கள் உடைய ஒரு மேகம் பேரண்டத்தைப்போல் 5-லிருந்து 10 மடங்கு அளவுள்ள ஒரு பகுதியில் அடங்கி இருக்கின்றது என்று ஷேப்லீ கண்டுபிடித்தார்.

Mt Wilson Observatory

பெகாஸஸில் நெபுலா N.G.C. 7331-ம் நெடுந்தூரத்தில்
உள்ள மங்கலான நெபுலாக் கொத்தும்

ஒளிப்படம் XX



நெபுலாக்களின் நிறமாலைகள்

வானத்தில் அதே பகுதியில் இம்மாதிரியான மூன்று இதர மேகங்கள் இருக்கின்றன. ஆகையினால், நம்முடைய அண்டமும், ஆன்ட்ரோமீடா நெபுலாவும், இதர அண்மையிலுள்ள நெபுலாக்களும் இதேமாதிரியான மேகங்களால் ஆனவை என்று கருதப்படுகிறது.

இதைவிட இன்னும் சிறந்த முறையில் நெபுலாக்களின் தூரத்தை சமீபத்தில் கண்டுபிடித்திருக்கிறார்கள். ஒரு விண்மீனின் இயக்கம் அதன் நிறமாலையில் எப்படி ஒருவித மாற்றத்தை ஏற்படுத்துகிறது என்பதை ஏற்கெனவே பார்த்தோம். அதாவது, சிவப்பு முனைப் பக்கம் நிறமாலை நகர்த்தப்படுகிறது. இது விண்மீன் நம்மைவிட்டு அகன்று செல்லும்பொழுது ஏற்படுகிறது. இதைப்போல் விண்மீன் நம்மை நோக்கிவந்தால் ஊதாக்கோட்டின் பக்கம் நிறமாலை தள்ளிக் காணப் படும். நெபுலாக்களின் நிறமாலைகளும் இவ்விதமே காணப்படுகின்றன. இதற்குக் காரணம் அவைகளின் இயக்கமா அல்லது வேறு ஏதாவது உண்டா என்பது இன்னும் விவாதிக்கப்படுகிறது.

இந்த இரண்டுவகை நிறமாலைகளும் எதிரேயுள்ள ஒளிப்படம் XX-ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. இதில் ஒவ்வொன்றிலும் நடுவில் உள்ள நிறமாலை நெபுலாவினதாகும். இதற்கு மேலும் கீழும் உள்ளது ஒப்பனைக்காகும். இந்த நிறமாலை ஹீலியத்தினுடையதாகும். இந்த நிறமாலைகளைப்பற்றி அறிவது எளிதல்ல. இதற்கு வேண்டிய குறிப்பு கீழே கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது கால்ஸியத்தின் H, K கோடு களைக் காட்டுகின்றன. மற்றக் கோடுகளெல்லாம் குழப்பத்தை உண்டாக்காமல் தள்ளும்படி செய்யப்பட்டுவிட்டன. இதில் இடப்பெயர்வு மிக அதிகம். இந்த இடப்பெயர்வுகள் வானவெளியில் நெபுலாக்களின் பிரத்தியேக இயக்கங்களைக் குறிக்காது. நகர்ந்துகொண்டிருக்கும் புவியின் இயக்கத்தையொட்டிதான் இவைகளின் இயக்கத்தைக் காண லாம். அண்டத்தின் சுழற்சி புவியை அண்டத்தின் மையத்தைச் சுற்றி ஒரு நொடிக்கு 270 கிலோ மீட்டர்கள் வீதம் அசையச் செய்கிறது. ஆகையினால், புவி இந்த வேகத்தில்தான் இதற்குப் பின்னிருக்கும் நெபுலாக்களைவிட்டு அகலுகிறது. அதேசமயத்தில் இதற்கு முன் னிருக்கும் நெபுலாக்களை நோக்கிச் செல்லுகிறது. ஆகையினால், நெபு லாக்களின் இயக்கங்களை ஆராயும்பொழுது இந்த நிலையையும் கணக்கில் கொள்ளவேண்டும்.

அருகிலுள்ள நெபுலாக்களின் நிறமாலைகள் சிவப்பு ஊதா இந்தக் கோடுகளின் பக்கம் ஒரே அளவில்தான் தள்ளிக் காணப்படு கின்றன. இதற்குக் காரணம், இவைகளில் சில நெபுலாக்கள் நம்மை நோக்கியும் சில நம்மைவிட்டு அகன்றும் இயங்கி வருவதனால் ஆகும்.

நம் அருகிலுள்ள நெபுலாக்களை விட்டுத் தொலைவிலுள்ள நெபு லாக்களை எடுத்துக்கொண்டால் இவைகளின் நிறமாலைகளில் சிவப்பு

முனைப்பக்கம் அதிகமாகக் கோடுகள் காணப்படுகின்றன. முடிவாகப் பார்த்தால் எல்லாக் கோடுகளுமே சிவப்பு முனைப்பக்கம் இருக்கின்றன. ஆகையினால், தொலைவிலுள்ள நெபுலாக்கள் நம்மைவிட்டு அகன்று வருகின்றன என்று சொல்லலாம்.

நெபுலா நிறமாலைகளின் இடப்பெயர்வுகளை முனைப்பாக ஆராய்ந்தால், இரண்டுவிதமாகப் பிரிக்கலாம்.

(1) இரண்டு புறத்திலும் முறையில்லாமல் (தற்செயலான) தள்ளி நிற்கும் இடப்பெயர்வுகள்.

(2) சிவப்பு முனையை நோக்கியே தள்ளிக் காணப்படும் குறிப்பான இடப்பெயர்வு.

இவைகளில் முதலில் சொல்லப்பட்ட தற்செயலான இடப்பெயர்வு தற்செயலான இயக்கங்களைக் குறிக்கின்றன. அதாவது நெபுலாக்களில் பாதி அளவு நம்மை நோக்கியும், மற்றப் பாதி அளவு நம்மைவிட்டுப் பிரிந்தும் செல்லுகின்றன என்பதைக் குறிக்கும். ஒரு சில மிலியன் ஒளியாண்டு தூரத்திற்குப் பிறகு இந்தத் தற்செயலான இடப்பெயர்வு, குறிப்பான இடப்பெயர்வைக்காட்டிலும் மிகக் குறைந்ததாக அமையும். ஆகையினால், இவைகளைப்பற்றி ஒருவித இடையூறும் இல்லாமல் ஆராயலாம்.

உமாசன், ஹப்பிள் (Humason and Hubble) என்ற இருவரும் முறையான இடப்பெயர்வு நெபுலாவின் தூரத்திற்கேற்ப இருக்கின்றது என்ற சிறந்த விதியைக் கண்டுபிடித்தனர். இந்த விதி மிகவும் சரியான விதியாகையினால், மிகத் தொலைவிலுள்ள நெபுலாக்களின் தூரத்தைச் சரியானபடி அளப்பதற்கு மிகவும் பயன்படுகின்றது. முறையான இடப்பெயர்வு நெபுலாக்கள் நம்மைவிட்டு அகலுவதனால் ஏற்படாவிடினும் இந்த முறை நமக்குப் பயன்படுகிறது. இந்த இடப்பெயர்வின் காரணம் யாதாயினும் இந்த முறை நம்பிக்கையானதாகும்.

இடப்பெயர்வு நெபுலாக்களின் இயக்கத்தினால் ஏற்பட்டால் இந்த இயக்க வேகங்கள் மிகவும் அதிகமாயிருக்கும். இதுவரை அளக்கப்பட்ட அதிக வேகங்கள், பூட்ஸ் (Boötes), உர்ஸா மேஜர் (Ursa Major) என்ற இரண்டு கொத்துகளின் வேகங்களாகும். அவை முறையே நொடிக்கு 24,500, 26,000 மைல்களாகும். இஃது ஒளியின் நேர்வேகத்தில் 7-ல் ஒரு பங்காகும். இந்த வேகத்தில் செல்லும் ஒரு துகள் புவியை ஒரு நொடியில் சுற்றிவரும். இதிலிருந்து கொத்துகளின் தூரங்கள்—அவைகளின் நிறமாலை இடப்பெயர்வுகளிலிருந்து கணக்கிடும் வகையில்—முறையே 230, 240 மிலியன் ஒளி ஆண்டுகளாகும்.

இதுகூட மனிதனால் காணப்பட்ட மிக அதிக தூரமாகாது—தொலை நோக்கியினால்கூடக் காணப்பட்ட தூரமாகாது. ஆனால், இந்தத் தூரத்திலிருந்துவரும் ஒளி நிறமாலை சோதனைக்கு ஏற்ப வலிமையுள்ள தாகும். இவைகளைவிட மங்கலான நெபுலாக்கள், அதாவது 500, அல்லது 1000 மிலியன் ஒளி ஆண்டுகள் தூரத்திலுள்ள நெபுலாக்கள் இருக்கின்றன. அண்டத்தின் விட்டமாகிய 230,000 ஒளி ஆண்டுகள் மிகப் பெரியதாகக் கருதப்பட்டு வந்தது. ஆனால், இப்பொழுது நாம் எடுத்துக்கொண்ட தூரம் இதைவிடப் பல ஆயிரமடங்குகள் பெரிய தாகும். அதன் நெடும் பயணத்தில் 99·9 சதவீத தூரம், புவியில் மனிதனே இல்லாத காலமாகும். இந்த ஒளி புவியை அடையும் நேரத் துக்குச் சரியாக மனிதன் பிறந்து அதைப் பார்ப்பதற்குத் தொலை நோக்கி என்னும் கருவியைத் தயார் செய்துவிட்டான். வான நூலின்படி பார்க்கப்போனால் இஃது உண்மையாகும். இந்தப் பயணத் தில் 0·1 சதவீதம், காலஅளவில் புவியில் பல ஆயிர தலைமுறைகளுக்கு ஈடாகும். இந்த ஒளி நொடிக்கு 186,000 மைல்கள் வீதம் வான வெளியில் பயணம் செய்திருக்கிறது.

நெபுலாக்களின் பொருண்மைகள்

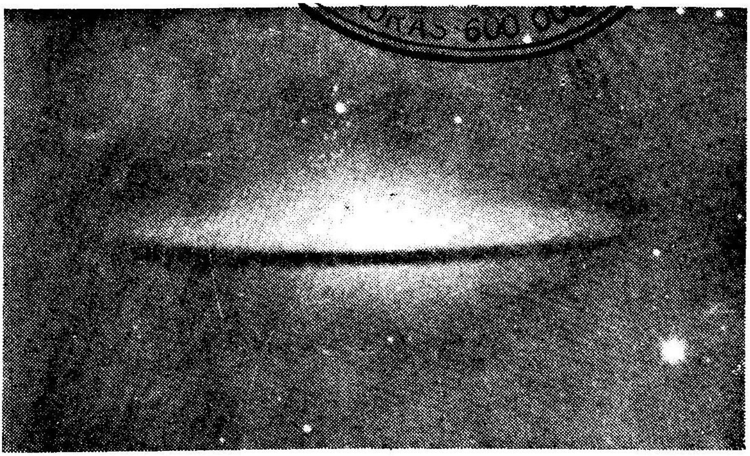
ஒரு நெபுலாவிலுள்ள மொத்த விண்மீன்களை அதன் சிறிய பகுதி ஒன்றில் உள்ள சராசரி விண்மீன்களின் எண்ணிக்கையைக்கொண்டு கணக்கிடலாம். இதைவிடச் சரியான முறைகளும் இருக்கின்றன. அண்டத்தில் வெளிப்புறமுள்ள விண்மீன்கள் எப்படி அண்டத்தில் ஈர்ப்பு ஆற்றலினால் சுற்றுப்பாதையைக் கடக்கின்றதோ அதே போல் நெபுலாவின் ஈர்ப்பு ஆற்றலினால் அதன் வெளிப்புறத்திலுள்ள விண் மீன்கள் குறித்த சுற்றுப்பாதைகளில் செல்லுகின்றன. புவி சூரியனை விட்டு அகலாமல் கட்டுப்பட்டிருப்பதுபோல் மேற்சொன்ன நெபுலாக் களின் விண்மீன்களும் கட்டுப்பாட்டிலிருக்கின்றன. ஆகையினால், ஞாயிற்றையோ அல்லது அண்டத்தையோ எடை பார்ப்பதுபோலவே நெபுலாக்களின் எடைகளையும் கண்டுபிடித்துவிடலாம்.

ஆன்ட்ரோமீடாவிலுள்ள 'கிரேட் நெபுலா' எம். 31-ன் (ஒளிப் படம் X) எடை ஞாயிற்றைப்போல் 3500 மிலியன் மடங்குகளாகும் என்று ஹப்பிள் என்பவர் கணக்கிட்டார். இதைப்போல் விர்கோவி லுள்ள என்.ஜி.ஸி. 4594-ன் (ஒளிப்படம் XXI) எடை ஞாயிற்றைப் போல் 35,000 மிலியன் மடங்குகளாகும் என்றும் நிர்ணயித்தார். ஆனால், தற்பொழுது இந்த எடைகள் இந்த நெபுலாக்களின் ஒரு சிறிய பகுதிகளின் எடைகள் ஆகுமென்று தெரிகிறது. வானத்தை நுட்பமாக ஆராய்ந்ததில் நெபுலாக்கள் இன்னும் அதிக அளவில் பரவி இருக் கின்றன என்று தெரிகிறது. ஒளிப்படங்கள் X, XI, XII-ல் காட்டியபடி இவை அதிகமுள்ளன. இந்த ஒளிப்படங்கள், ஒளிப்படத் தகடுகளில்

விழும்படியாக அதிகமாக விண்மீன்கள் உள்ள பாகத்தைக் காண்பிக்கின்றன. இதை நம் கண்ணுல் பார்க்க முடியும். ஆனால், ஒரு கருவியின்மூலம் இந்த ஒளிப்படத் தகட்டை ஆராய்ந்தால் இந்த அமைப்பை மூன்று அல்லது நான்கு மடங்காவது அதிகமாக்கினால்தான் நெபுலாவின் முழு அமைப்புகளையும் காணமுடியும் என்று தெரிகிறது. இந்த நெபுலாக்களின் வெளிப்பகுதிகளில் நம் அண்டத்தின் வெளிப் பகுதியில் உள்ளதுபோல் உருண்டைக் கொத்துகள் காணப்படு கின்றன. ஆகையினால், வானநூல் அறிஞர்கள் இதுவரையில் நெபுலாக் களின் மத்திய பகுதிகளை ஆராய்ந்தார்களே அன்றி அவைகளை மொத்த மாக ஆராயவில்லை. ஆகையினால், இதுவரை நெபுலாக்கள் நம் அண்டத்தைவிடச் சிறியதென்று நினைத்தது சரியன்று. இவை குறைந்தது நம் அண்டத்தின் அளவு இருக்கலாம் (உருவத்தில்). இவை எடையிலும் கிட்டத்தட்ட இதே அளவு இருக்கலாம் என்பதை இப்பொழுதே காண்போம்.

ஒரு நெபுலாவின் பல பாகங்களின் இயக்கங்களை முன் சொன்ன முறையில் நிறமாலையைக்கொண்டு கண்டுபிடிக்கலாம். அநேக நெபு லாக்களில் ஒரு வண்டிச்சக்கரம் சுழலுவதுபோல் சுழன்றுகொண் டிருக்கும் ஓர் அடர்த்தியான மத்தியபாகம் இருக்கின்றது. இந்தப் பகுதியில் ஒரு புள்ளியின் இயக்கம் மையத்திலிருந்து அதன் தூரத் திற்கு ஏற்றவாறு இருக்கும். இதற்கப்பால் உள்ள பகுதியில் நேர் வேகம் போகப்போகக் குறைந்துகொண்டே போகும். இது ஞாயிற் றுக் குடும்பத்திலுள்ள கோள்களைப்போல் அல்லது அண்டத்தின் ஞாயிற்றுக்கருகிலுள்ள பகுதிகளின் இயக்கத்தைப்போல் ஆகும். இந்த வெளிப்புறப் பகுதிகளில் நேர்வேகங்களும் சுழற்சிப்போழ்துகளும் அண்டத்தில் ஞாயிற்றைப்போல் ஆகும். பேப்காக் (Babcock) என்பவர் ஆன்ட்ரோமீடா நெபுலா எம். 31-ல் வெளிப்புறப் பகுதிகளின் சுழற்சிப்போழ்து 92 மிலியன் ஆண்டுகளாகும் என்று கண்டுபிடித் திருக்கிறார். ட்ரயாங்குலத்திலுள்ள நெபுலா எம். 33-ல் சுழற்சிப் போழ்து 200 மிலியன் ஆண்டுகள் என்றும் நேர்வேகம் ஒரு நொடிக்கு 120 கிலோ மீட்டர் என்றும் மயாலும் (Mayall) ஆலனும் (Allen) கண்டுபிடித்திருக்கின்றனர். இவை அண்டத்தில் ஞாயிற்றின் சுழற்சிப் போழ்தான 250 மிலியன் ஆண்டுகளுக்கும் நேர்வேகமான நொடிக்கு 270 கிலோ மீட்டருக்கும் ஒப்பிடலாம்.

இந்த மதிப்புகள் ஏறக்குறைய ஒரேமாதிரியாக இருப்பதனால் இவைகளிலிருந்து கிடைக்கும் நெபுலாக்களின் பொருண்மைகளும், நம் அண்டத்தைப்போலவே இருக்கின்றன. ஆன்ட்ரோமீடாவிலுள்ள எம். 31 என்ற நெபுலாவின் எடையைப் பார்த்ததில் மூன்று முறைகளில் முறையே 95,000 மிலியன், 102,000 மிலியன், 200,000 மிலியன்



விர்கோவில் உள்ள நெபுலா N.G.C. 4594

ஒளிப்படம் XXII

Mt Wilson Observatory

பெகாஸஸில் மங்கலான நெபுலாக் கொத்துகள்

ஞாயிற்றின் எடைகளுக்குச் சமமென்று தெரிகின்றது. அதே சமயத்தில் ட்ரயாங்குலத்திலுள்ள நெபுலா எம். 33-ன் எடை 17,000 மிலியன் ஞாயிற்றுக்குச் சமம் என்று தெரிகிறது. நெபுலாக்களின் எடைகளை இன்னொரு விதத்திலும் கணக்கிடலாம். ஒளிப்படங்கள் XIX, XXII-ல் காட்டப்பட்டுள்ள கொத்துகளின் உறுப்புகளின் வேகங்களை நிறமாலைமூலம் அளக்கும்பொழுது ஒரே கொத்தின் உறுப்புகள் ஒரே வேகத்தில் இயங்குவதாகத் தெரியவில்லை. கொத்து மொத்தமாக நொடிக்கு 10,000 மைல்கள் வீதம் இயங்கினாலும் தனிப்பட்ட நெபுலாக்கள் நொடிக்குச் சில 100 மைல்கள் அளவில் இயங்கு கின்றன.

நெபுலாக்கள் ஒன்றை ஒன்று ஈர்ப்பு ஆற்றலினால் இழுக்காவிட்டால் இம்மாதிரியான இயக்கங்கள் உறுப்புகளைத் தனித்தனியே பிரித்து அவை நொடிக்குப் பல 100 மைல்கள் வேகத்தில் செல்லும்படியாக நேரும். தனிப்பட்ட நெபுலாக்களின் வேகங்களிலிருந்து கொத்து முழுமையாக இருக்க எவ்வளவு ஈர்ப்பு ஆற்றல் வேண்டும் என்பதைக் கண்டுபிடித்துவிடலாம். இதிலிருந்து கொத்தின் மொத்த எடையை நிர்ணயித்துவிடலாம். அதனால், இந்தக் கொத்தின் நெபுலாக்களின் சராசரி எடைகளைக் கண்டுபிடித்துவிடலாம். ஸின்க்ளேர் ஸ்மித் (Sinclair Smith) என்பவர் விர்கோவிலுள்ள 32 நெபுலாக்களுடைய ஒரு கொத்தின் எடையை நிர்ணயித்து அதிலிருந்து அதன் உறுப்பு களின் சராசரி எடை 200,000 மிலியன் ஞாயிறுகளுக்குச் சமம் என்று கணக்கிட்டிருக்கிறார். இன்னும் மற்றவர்கள் இதர கொத்துகளின் நெபுலாக்களின் எடையை ஏறக்குறைய இதே அளவில் நிர்ணயித்து இருக்கின்றனர். இந்தக் கொத்துகளைத் தவிர அநேக நெபுலாக்கள் இரட்டையர்களாக, இரட்டை விண்மீன்கள் ஒன்றை ஒன்று சுற்றுவது போல், தங்களை ஒன்றை ஒன்று சுற்றிவருகின்றன. இதற்கு ஒரு நல்ல உதாரணம் எதிரே கொடுக்கப்பட்டுள்ள ஒளிப்படம் XXIII-ல் காண லாம். இந்தமாதிரி இரட்டை நெபுலாவின் எடைகளை இரட்டை விண் மீன்களின் எடைகளை நிர்ணயித்ததுபோலவே நிர்ணயித்துவிடலாம். இந்த நெபுலாக்களின் சராசரி எடை முன் கூறப்பட்ட அளவிலேதான் இருக்கின்றன.

இவைகளிலிருந்து தனிச்சிறப்பு அண்ட நெபுலாக்கள் உருவம், எடை, உள் இயக்கம் இவைகளைப் பொறுத்தவரையில் நம் அண்டத் தைப்போலவேதான் என்று சொல்லலாம். நெபுலாக்களில் மிக அருகிலுள்ளவை உருவத்திலும் எடையிலும் நம் அண்டத்தை விடச் சிறியனவாக இருக்கின்றன. ஆனால், இவைகளைச் சரியானபடி அளப்பதற்கு முடியவில்லை. ஆகையினால், இவைகளில் சில நம் அண்டத்தைவிடப் பெரியதாக இருக்கலாம்.

அண்டத்தின் அமைப்பு

இதுவரை தொலைநோக்கியின் திறனை அதிகரித்ததனால் வானத்தை நெடும் தூரத்திற்கு ஆராயமுடிந்தது. ஆகையினால், நாம் காணக் கூடிய பகுதிகள் விரிவடைந்தன. இந்த விரிவிற்கு ஓர் எல்லை உண்டா என்று கேட்கத்தோன்றும்.

இதற்கு முன் பரம்பரைவரையிலும் விஞ்ஞானிகள் இந்தக் கேள்விக்கு இல்லை என்ற பதிலையே அளித்திருப்பார்கள். அதாவது, வானவெளியை வானவெளி சம்பந்தமில்லாத ஒரு பொருள்தான் எல்லையாகக் கட்டுப்படுத்தவேண்டும் என்று விஞ்ஞானிகள் கருதினார்கள். அதாவது, நம் எண்ணங்களைக் கட்டுப்படுத்த வானவெளியில் சுவர் போன்ற ஓர் அமைப்பு இருக்கவேண்டும். வானவெளி அளவில்லாமல் விரிந்துகொண்டே போகின்றது என்று நினைக்க முடியாவிட்டாலும் வானவெளியைத் தவிர வேறு ஒரு பொருள் ஓர் எல்லையாக அமையும் என்று நினைப்பது இன்னும் கடினமாக இருக்கிறது.

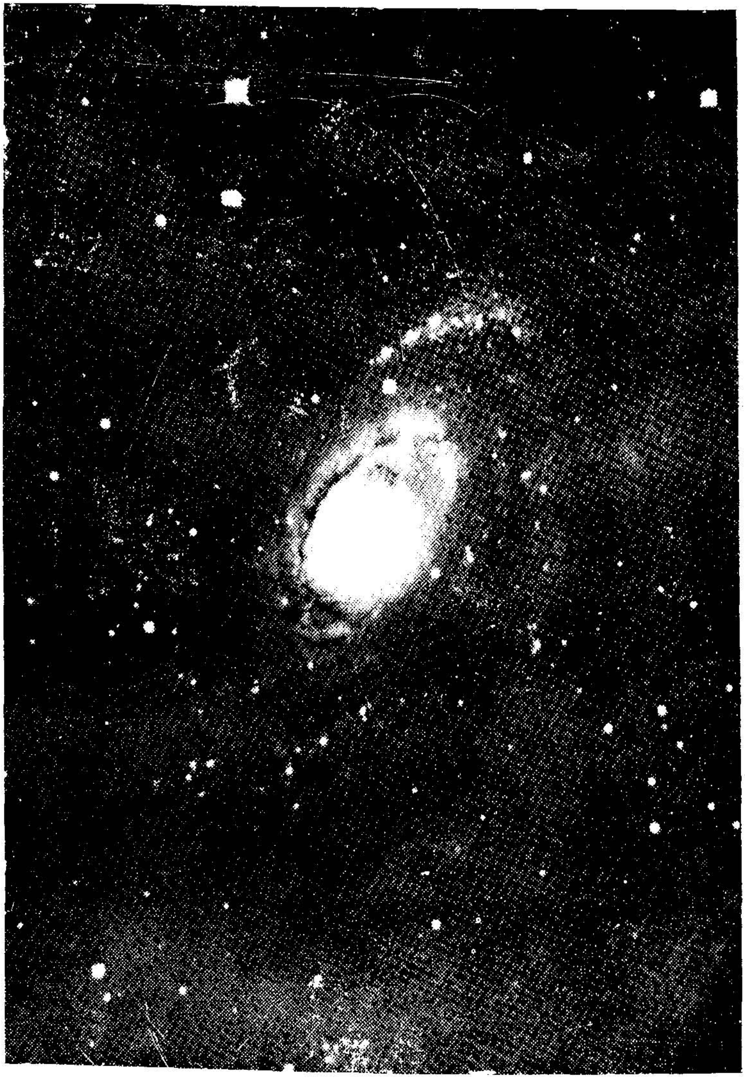
இந்த விவாதம் சரியானதன்று. உதாரணமாகப் புவியின் மேற்புறம் ஒரு குறிப்பிட்ட எல்லையுடையது. ஆனால், புவியைச் சுற்றி நாம் எத்தனைதரம் வேண்டுமென்றாலும் தடை ஒன்றும் இல்லாமல் செல்லலாம். புவியின் மேற்புறம் உருண்டை வடிவமானது என்பது அறியாத ஒரு பிரயாணி தான் செல்லச் செல்ல புதிய புதிய இடங்கள் வந்து கொண்டே இருக்குமென்று எதிர்பார்ப்பான். ஆனால், அவன் போன வழியிலே திரும்பித் திரும்பி சென்றுகொண்டிருப்பான் என்று நமக்குத் தெரியும். புவியின் வளைமானம் அதன் சுற்றளவைக் குறுக்கி விடுகிறது.

தொடர்புக் கோட்பாடு

ஐன்ஸ்டைனின் தொடர்புக் கோட்பாடு ஈர்ப்பு ஆற்றலைப்பொறுத்த வரை வானவெளி ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுடையது என்ற அடிப்படை எல்லாம் கொடுக்கப்பட்டது. புவியின் மேற்புறம் எப்படி ஒரு குறிப் பிட்ட அளவுடையதோ அதேபோல் பேரண்டத்தின் கனபரிமாணம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுடையதுதான் ; ஆகையினால், அது மேற்புறம் மடிந்து ஒன்றுகூடுகின்றது. இந்த ஒப்பனை வானவெளியைப் புவியின் மேற் புறத்திற்கு ஒப்பிடும்வரை சரியானதாகும். ஆனால், பரிமாணங்களை ஒப்பிட்டால் இது சரியாக இருக்காது. ஏனென்றால், புவியின் பரிமாணம் ஓர் எல்லையுடையது என்றால் இதற்குக் காரணம் வேறு. புவியைக் குடைந்துகொண்டே வரும் அகழெலி கடைசியில் வாயுவினில் புகுந்து விடும். ஆனால், புவியின் மேற்புறத்தைச் சுற்றிச் சுற்றி எவ்வளவு முறை வந்தாலும் ஒன்றும் கிடைக்காது. ஆகையினால், வானவெளியின்

இரட்டை நெபுலாக்கள் N.G.C. 4567-8

ஒளிப்படம் XXIV



Mt Wilson Observatory

உர்஭ா மேஜரில் நெபுலா *M* 81

தன்மை புவியின் மேற்புறத்தின் தன்மையை ஒத்திருக்கும். அதன் பரிமாணத்திற்குச் சரியானபடி பொருந்தியிருக்காது.

இந்தப் புத்தகத்தில் தொடர்புக் கோட்பாட்டின்படி மேற்கூறிய முடிவு எப்படிக் கிடைத்தது என்பதை ஆராய்வோம்.

ஓடிக்கொண்டே இருக்கும் ஒரு பொருள் அதன் ஓட்டத்தைக் கட்டுப்படுத்த ஏதாவது இடையூறு நேரிட்டால்தான் அதன் ஓட்டம் குறையும். இது பொருளின் தன்மையான 'இனர்ஷியா' (inertia) என்ற ஒரு தன்மையைக் குறிக்கின்றது. நியூடன் (Newton) என்பவர் அவரின் முதல் இயக்க விதியில் இதைக் குறிப்பிட்டார்: 'ஒவ்வொரு பொருளும் அசைவற்ற நிலையில் அல்லது ஒரு நேர்கோட்டுப் பாதையில் ஒரே வேகத்தோடு இயங்கிக்கொண்டு இருக்கும். இந்த நிலையை மாற்ற ஒரு விசையினுல்தான் முடியும்.' இதை விவரித்து அவர் இரண்டாம் விதியில் விசைகளைப்பற்றிப் பின்வருமாறு குறிப்பிட்டார்: 'அதன் வேகம் அதனைப் பாதிக்கும் விசையைப் பொறுத்திருக்கும்; இஃது அது செல்லும் திசையில்தான் மாற்றமடையும்.'

ஒரு கிரிக்கெட் பந்து அல்லது கோள் நேரான பாதைகளில் செல்லாமல் வளைகோடுகளில் செல்வதனுல் இவைகள் விசைகளினுல் பாதிக்கப் படவேண்டும் என்று முடிவு கூறினர். இந்த இரண்டு நிகழ்ச்சிகளிலும் ஈர்ப்பு ஆற்றல் விசை அதைப் பாதிக்கின்றது. இதைப்பற்றி ஏற்கெனவே பார்த்தோம். நியூடனின் இரண்டாம் விதி இந்த விசையை அளக்கச் சாதகமாயிற்று. அதாவது இந்த விசை அதன் வேகத்தின் மாற்றத்துக்கு விகித சமனுகும் என்று முடிவாகிறது. இரண்டு நூற்றுண்டுகளாக இந்த விதி இயற்கையின் போக்கைச் சரியானபடி விவரிக்கிறதென்று நினைத்து வந்தார்கள். ஆனுல், 19ஆம் நூற்றுண்டு இறுதியில், மிக்கல்ஸன்-மார்லீ (Michelson-Morley) என்பவர்களால் நடத்தப்பட்ட சோதனையின் விளைவாக மொத்த அமைப்பும் அர்த்தமற்றதாயும் முரண்பாடுடையதாயும் உள்ளன என்று தெரிந்தது.

நியூடன் ஒரு பொருளின் விசையை அதன் வேகத்தின் மாற்றத்தைக் கொண்டு நிர்ணயித்தார். இந்த வேகத்தின் மாற்றத்தை நிர்ணயிக்குமுன் இந்த வேகத்தையே எவ்வளவு என்று நிர்ணயிக்கவேண்டும். அதற்கு ஒரு தகுந்த பின்னணி வேண்டும். 19ஆம் நூற்றுண்டில் ஈதர் (ether) என்ற ஒரு பொருள்தான் இந்தப் பின்னணியாகும் என்று நினைத்துவந்தார்கள். எங்கும் நிறைந்திருக்கும் இந்த ஈதர் காலத்தோடு சேர்ந்து வேகத்தின் மாற்றத்தையும் விசையின் மாற்றத்தையும் அளக்கத் தகுந்தவையாகும் என்று முடிவு கூறப்பட்டது. காலநதி (river of time) ஒரு நொடிக்கு எவ்வளவு என்பதைக் கடிகாரம்போல் காட்ட இந்த நேரத்தில் ஒரு பொருள் ஈதர்மூலம் 10 அடி சென்றிருந்

தால் அப்பொழுது அந்தப் பொருளின் வேகம் நொடிக்கு 10 அடி ஆகு மென்று சொல்லலாம்.

மேற்சொன்ன சோதனையின்படி இது முற்றிலும் தவறென்றும், ஈதர் என்ற பொருள் யாதும் இல்லை என்றும், ஒரே வேகத்தில் செல்லும் காலநதி ஒன்றுமில்லை என்றும் முடிவு காணப்பட்டது. ஆகையினால், பழைய கருத்துகளை நிராகரித்துப் புதிய கருத்துகளைக் கொடுக்க முயன்றனர். இதன்படி இயற்கையை நான்கு பரிமாணமுள்ள ஒரு வானவெளியில் (space of four dimensions) வரையப்பட்ட சித்திர மாகக் கருதினார்கள். இது கணிதவகையில் பொருந்திய ஓர் உண்மை யாகுமென்றும், மற்றபடி அஃது ஒரு கற்பனையே என்றும் நினைத்தார்கள். இது நம் வாழ்க்கையில் சம்பந்தப்பட்ட இட-கால (space and time) அமைப்பாகும் என்றும் இவை ஒன்றை ஒன்று பிரிக்கமுடியாத நிலையி லுள்ளன என்றும் கருதினர். காலமும் இடமும் ஒன்றுக்கொன்று சரிநிகராக இணையும் விதம் பலவகைப்பட்டதாயிருந்தாலும் ஒருவகை மிகவும் எளிதானதாகும்.

சரியாகச் சொல்லப்போனால் இவற்றை நான்கு கூட்டாளிகளாகப் பிரிக்கலாம். இதில் முதல் மூன்று சாதாரண வானவெளிக்கான அகலம், நீளம், உயரம் அல்லது புவியியல் முறையில் சொல்லப்போனால் வடக்கு தெற்கு, கிழக்கு மேற்கு, மேல் கீழ்த் திசைகளாகும். நான்காவது காலம், இந்தக் காலத்தை இடத்திற்குத் தகுந்தபடி அளக்கவேண்டும். அதை −1-ன் வர்க்க மூலத்தால் பெருக்கவேண்டும். மேற்சொன்னபடி −1-ல் பெருக்குவது ஒரு முக்கிய அம்சமாகும். ஏனென்றால் −1 என்ற வர்க்க மூலத்தை உண்மையாகக் காணமுடியாது. இதை ஒரு கணக்கிடமுடியாத எண், அதாவது கற்பனை எண் (imaginary number) என்று கணக்கு அறிஞர்கள் அழைத்தனர். எந்தச் சாதாரண எண்ணும் அதைக்கொண்டே பெருக்கும்பொழுது −1 கொடுக்காது. இருந்தாலும் காலத்தை $\sqrt{(-1)}$ ஆண்டுகளால் பெருக்கி னால்தான் அளவு முறையில் இடத்திற்கும் காலத்திற்கும் சமத்துவம் ஏற்படுகின்றது. ஆகையினால், இட-கால சமத்துவம் ஒரு மரபொழுங் காகும் என்று சொல்லலாம். இது கணக்கறிஞரின் கற்பனையே ஆகும். அப்படி இல்லை என்றால் இடமும் காலமும் தனித்தனியான அமைப்புகள் என்று நினைப்பதற்கும் மேற்சொன்ன உண்மைக்கும் சம்பந்தமில்லாமல் மறைந்திருக்கும்.

இடத்தையும் காலத்தையும் இயற்கை சமநிலையாக நடத்தியது, இயக்கம் இயக்கமாற்றம் இவைகளுக்கு ஆதாரமில்லாதபடி செய்து விட்டது. அதனால் விசை என்ற கருத்துக்கே இடம் இல்லாமல் போய் விட்டது. ஐன்ஸ்டைன் என்பவர் விசையை ஒரு கற்பனை என்று தள்ளும்படி செய்துவிட்டார். விசை என்று நாம் சொல்வது, ஒரு

எறிபொருள் வளைந்த ஒரு வானவெளியில் நேராகச் செல்ல முயலுவத ஞல் ஏற்படும் என்று கருதினுர். ஆகையினுல், இந்த வளைந்த வான வெளி புவியின் மேற்புறத்தைப்போன்று ஒன்றுகூடி ஒரு வரம்புள்ள அமைப்பாக இருக்கின்றது என்றும் இதன் கனபரிமாணம் ஒரு வரம் புள்ளது என்றும் முடிவு கூறினுர்.

பொதுத் தொடர்புக் கோட்பாடு நியூடனின் விதியினுல் கோள்களின் இயக்கத்தைப்பற்றி விளக்கமுடியாத சில உண்மைகளை விளக்கியது. உதாரணமாக, வானவெளியில் புதனின் சுற்றுப்பாதையின் சுழற்சியைப் பற்றி விளக்கமுடிந்தது. இது தவிர இதர நிகழ்ச்சிகளையும் முன் கூட்டியே அறியப் பயன்பட்டது. உதாரணமாக, ஒரு கிரகணத்தின் போது ஞாயிற்றின் அண்மையில் உள்ள விண்மீன்கள் இடப்பெயர்வு அடைவது எப்படி என்பதையும், இது விண்மீன்களின் ஒளி ஞாயிற்றின் ஈர்ப்பு ஆற்றல் வெளியில் புகுந்து வரும்போது வளைக்கப்படுவதனுல் ஏற்படுகின்றது என்றும், இதனுல் விண்மீன்களின் நிறமாலை சிவப்புக் கோட்டின் பக்கம் தள்ளிக் காணப்படுகின்றது என்றும் அறிகிருேம். இந்த இடப்பெயர்வு ஈர்ப்பு ஆற்றலின் திறனைப்பொறுத்திருக்கிறது என்றும் மிகச்சிறிய அல்லது மிகப்பெரிய விண்மீன்களுக்கு இடப் பெயர்வு மிகவும் அதிகமாகும் என்றும் தெரிகின்றது. முதலில் இதைப் பற்றி முன்கூட்டித் தெரிவிக்கும்போது ஒன்றும் தெரியாவிட்டாலும் ஆராய்ச்சியின்பேரில் இஃது உண்மை என்று உறுதியாயிற்று. இது (பொதுத் தொடர்புக் கோட்பாடு) வானநூலிற்குப் பயன்படக்கூடிய ஒரு சாதாரண கருவியாக அமைந்துவிட்டது. இதைக்கொண்டு ஸீரியஸ் B என்ற சிறிய மங்கிய விண்மீனின் விட்டத்தையும், இதன் கூட்டாளியின் விட்டத்தையும், மிக ஒளி பொருந்தியனவும் அதிக எடையுடையனவாயும் உள்ள ட்ரம்பளர் விண்மீன்களின் எடையையும் நிர்ணயித்து, கோள் நெபுலாக்களின் மத்தியிலுள்ள விண்மீன்களின் தன்மையையும் நிர்ண யித்துவிட்டனர்.

இன்னெரு வகையில் மொத்த அண்டத்தையும் ஆராய இந்தத் தொடர்புக் கோட்பாடு சரியானதாயில்லை. ஆகையினுல், பலதிறப்பட்ட புதிய கருத்துகளைத் தெரிவிக்க ஆரம்பித்தனர். இவைகளில் சிலவற்றை இப்பொழுது பார்ப்போம்.

ஐன்ஸ்டைனின் அண்டப் படைப்புக் கோட்பாடு

முதன்முதலாக ஐன்ஸ்டைன் வானவெளியின் பரிமாணம் அதி லுள்ள பொருளின் அளவைப் பொறுத்திருக்கிறது என்று நினைத்தார். அதாவது அதிலுள்ள பொருளின் சராசரி அடர்த்தியைப் பொறுத்திருக் கிறது என்று நினைத்தார். நம் தொலைநோக்கியின்மூலம் காணக்கூடிய பகுதிக்கு அப்பாலுள்ள பகுதிகளிலுள்ள பொருளின் அளவு எவ்வளவு

என்பதை நிர்ணயிக்க நம்மால் முடியவில்லை. ஆனால், மேற்சொன்ன பகுதிக்குள் உள்ள பொருள் தனிச்சிறப்பண்டம் என்ற வகையில் சமமாகப் பரவியுள்ளது.

நாம் ஏற்கெனவே பார்த்தபடி இவைகளின் எடைகளையும் இவைகளுக்கு இடையிலுள்ள சராசரி தூரங்களையும் கணக்கிட்டு விடலாம். முழு எண்கள் அளவில் எடுத்துக்கொண்டால் ஒரு சாதாரண நெபுலாவின் எடை 100 ஆயிரம் மிலியன் ஞாயிறுகளுக்குச் சமமென்றும், அஃது அதன் அண்மையிலுள்ள நெபுலாக்களிலிருந்து ஒரு மிலியன் ஒளி ஆண்டுகள் சராசரி தூரத்தில் இருக்கின்றது என்றும் சொல்லலாம். இதன்படி வானவெளியிலுள்ள பொருளின் சராசரி அடர்த்தி ஒரு கன செண்டி மீட்டருக்கு $2 \cdot 4 \times 10^{-28}$ கிராம்கள் என்றும், அதாவது ஒரு கன மீட்டருக்கு 200 ஹைட்ரஜன் அணுக்களும் அல்லது ஒரு பாதரச அணுவும் உள்ளதாகும் என்று சொல்லலாம். ஹப்பிள் என்பவரின் சரியான கணக்குப்படி பார்த்தால் நம் பகுதியிலுள்ள வானவெளியில் நெபுலாக்களின் சராசரி தூரம் 1,500,000 ஒளி ஆண்டுகள் ஆகும். இந்த அடர்த்தியை $0 \cdot 7 \times 10^{-28}$ என்ற அளவில் குறைக்கவேண்டும். அப்படியானால், நெபுலாக்கள் கொத்துகளாக மாறும் நிலைமைக்குத் தகுந்த மதிப்பீடு செய்யவேண்டும். மொத்தத்தில் வானவெளியின் பொருளின் சராசரி அடர்த்தியை 10^{-28} என்று எடுத்துக்கொள்ளலாம். மொத்த வானவெளியும் இதே அடர்த்தியுடைய பொருளினால் ஆக்கப்பட்டதாயும் ஐன்ஸ்டைனின் அண்டப் படைப்பின் கோட்பாட்டின்படி வானவெளியின் விட்டம் 3,300 மிலியன் ஒளி ஆண்டுகளுமாகும். இது நமக்குத் தெரிந்த நெபுலாக்களின் தூரத்தைப்போல் 12 மடங்கும் நம்மால் காணக்கூடிய நெபுலாவின் தூரத்தைப்போல் 2 அல்லது 3 மடங்கும் ஆகும்.

இருந்தாலும் பொதுத் தொடர்புக் கோட்பாடு இந்த அண்டபடைப்பைப் பிரத்தியேகமாக நிர்ணயிக்கவில்லை. முதலில் சொன்னது சரியாகவும், இரண்டாவது சொன்னது தவறாகவும் இருப்பது சாத்தியம். நம் பேரண்டத்தில் ஒரு சிறிய பகுதியைப்பற்றிச் சரியானபடி கணக்கிட முடிந்தாலும் பேரண்டத்தை இதர வழிகளில் நிரப்ப முடியும் என்ற கருத்து தெளிவாயிற்று. ஆகையினால், பேரண்டத்தைப்பற்றி ஐன்ஸ்டைனின் கருத்து அவருடைய பொதுத் தொடர்புக் கோட்பாட்டைப்போல் அவ்வளவு சிறந்த கருத்தாக எடுத்துக்கொள்ள முடியாது. உண்மையில் ஐன்ஸ்டைனின் கருத்து சரியாக ஏற்றுக்கொள்ளப்படமுடியவில்லை. 1917-ல் லைடனைச் (Leiden) சேர்ந்த டிஸிட்டர் (de Sitter) என்பவர் இன்னொரு அண்டப் படைப்புக் கோட்பாட்டை வெளியிட்டார். இஃது ஐன்ஸ்டைனின் கோட்பாட்டைவிடச் சிறந்தது என்று கருதப்பட்டது.

டஸிட்டரின் அண்டக் கோட்பாடு

மேற்சொன்ன இரண்டு கோட்பாடுகளுக்கும் உள்ள மாறுபாட்டை முதலில் பார்ப்போம். ஐன்ஸ்டைனின் கோட்பாடு அண்டத்தின் பரிமாணம் அதன் பொருளின் அளவைப் பொறுத்திருக்கிறது என்பதாகும். ஒரு குறிப்பிட்ட அளவில்தான் பொருள் இருக்கவேண்டும் என்ற நோக்கத்தோடு அண்டம் படைக்கப்பட்டிருந்தால் அதன் பரிமாணம் அதற்குத் தகுந்தபடி அமைந்திருக்கும். இதற்குமேல் இருக்க முடியாது. அல்லது பேரண்டத்தின் பரிமாணமும் அதன் இயற்கை விதிகளும் முன்னமே நிர்ணயிக்கப்பட்டிருந்தால் அதில் இவ்வளவுதான் பொருள் இருக்கவேண்டுமென்பதும் அவசியமானதாகும்.

டஸிட்டரின் பேரண்டம் அவ்வளவு எளியதன்று. இன்னொரு விதத்தில் சொல்லப்போனால் பேரண்டத்தின் படைப்புக்கு இன்னும் அதிக ஆக்க வாய்ப்புகளை அளிக்கின்றது. இயற்கை விதிகளை முன்னமே நிர்ணயித்தாலும் எவ்வளவு பரிமாணமுள்ள பேரண்டமாயினும் உற்பத்தி செய்யலாம். இதில் எவ்வளவு பொருள் வேண்டுமானாலும் சேர்க்கலாம். விஞ்ஞானரீதியாகப் பார்க்கப்போனால் ஐன்ஸ்டைனின் பேரண்டம் டஸிட்டரின் பேரண்டத்தைவிடக் கோட்பாட்டு முறையில் ஒருவகையில் குறைந்ததாகும். ஆகையினால்தான் இஃது இன்னும் எளிய கோட்பாடாகும் என்று சொல்லலாம்.

இந்த எளிமை மிகவும் சிக்கனமற்றதாயிருக்கும் பொதுத் தொடர்புக் கோட்பாட்டின் முக்கிய அம்சம் இடம் காலம் இவைகளின் சமத்துவமேயாகும்—அதாவது முன் சொன்னவகையில். இந்தச் சமத்துவம் அண்டத்தை மொத்தமாகப் பார்க்கும்பொழுது மறைந்து விடுகிறது என்று எளிமையாகக் கருதினர். இதன்படி இடமும் காலமும் ஒரு சிறிய பகுதியில் ஒன்ருகவும் அண்ட முழுவதையும் எடுத்துக் கொண்டால் தனித்தனியாகவும் இருக்கும் என்று கருதப்பட்டது. இதை மறுத்தால் எவ்வளவு தூரம் நம் மறுப்பு சரியானதாகும் என்பது விளக்கமாகத் தெரியவில்லை. உண்மையான இடமும் உண்மையான காலமும் தனிப்பட்டவையாகும். இருந்தாலும் நம் அனுபவத்தில் இவை இரண்டும் தனிப்பட்டவையாகவே காணப்படுகின்றன. ஆகையினல், கடைசிபட்சமாக வானவெளி முழுவதையும் எடுத்துக்கொள்ளும் பொழுது இடமும் காலமும் தனித்தனியானவை என்று கருதும் அண்டக் கோட்பாடு தவறு என்று எப்படிச் சொல்லலாம். இது நமக்கு எப்படி என்று முன்னமே தெரிந்துவிட்டது. இந்தக் கடைசி கேள்விக்கு விடை எதுவாயிருந்தாலும் டஸிட்டரின் அண்டக் கோட்பாடு அண்டத்தின் பகுதியே ஆயினும் அல்லது அண்டத்தை முழுவதாக எடுத்துக் கொண்டாலும் இடமும் காலமும் சமத்துவமாகத்தான் இருக்கும் என்று கருதியது. இதுவரை நாம் பேசிய சமத்துவ அடிப்படை கோட்பாட்டு

வகையில் ஆகும். ஏனென்றால், ஓர் ஒளி ஆண்டு தூரமும் —1-ன் வர்க்கமூல அளவில் ஒளியாண்டுக் கால அளவு ஒன்றாகும். டீஸிட்டரின் அண்டக் கோட்பாடுகூட ஓர் ஒளி ஆண்டு (9·46 மிலியன் மிலியன் கிலோ மீட்டர்கள்) பன்னிரண்டு மாதங்களுக்குச் சமம் என்று சொல்ல முடியாது.

ஐன்ஸ்டைனின் பொதுக் கோட்பாட்டு ஆராய்ச்சியின்படி சரியானதாயிருந்தாலும் அதன்படி எந்த ஒரு குறிப்பிட்ட நிகழ்ச்சியும் (சோதனை செய்யும் வகையில்) எதிர்பார்க்கப்படவில்லை. மற்றொருபக்கம் டீஸிட்டரின் கோட்பாடு தூரத்திலுள்ள பொருள்களின் நிறமாலைகளில் சிவப்பு முனைப்பக்கம் தூரத்திற்கேற்ற இடப்பெயர்வு ஏற்படும் என்று முன் கூட்டியே தெரிவித்தது. காலத்துக்கும் இடத்திற்கும் உள்ள சமத்துவம் அண்டத்தில் அருகிலுள்ள பொருளைக்காட்டிலும் தூரத்திலுள்ள இதே பொருளின் ஒளி அலைகளின் அதிர்வு நிதானமானதாகும் என்ற முடிவைக் குறிக்கிறது. ஆகையினால், காலப்போக்கு மற்ற இடங்களை விட நாம் இருக்கும் இடத்தில் அதிக வேகமாயிருக்கின்றது. இது முதலில் ஒரு புதிராகக் காணப்பட்டாலும் சரியானபடி ஆராய்ந்தால் விளங்கிவிடும். டீஸிட்டர் புவியை மையமாக உள்ள ஒரு பேரண்டத்தைப்பற்றி நினைக்கவில்லை. ஏனென்றால், தொலைவிலுள்ள ஒரு விண்மீனில் வசிப்பவன் புவியிலுள்ள அணுக்கள் அவனுடைய கால அளவைவிட நிதானமான காலத்தை உடையதாகும் என்று கருதுவான். இந்தப் புதிரை இடமும் காலமும் தொடர்பாடுடையன என்று வைத்தால் விளங்கிவிடும்.

சிவப்பு முனைப்பக்கம் இடப்பெயர்வு ஏற்படுவது (தூரத்தின் காரணமாக) டீஸிட்டரின் பேரண்டத்தின் தனிப்பட்ட தன்மையாகும். இஃது ஒரு நகர்ந்துகொண்டே இருக்கும் பொருளின் நிறமாலையின் தன்மை என்று எல்லாவிதப் பேரண்ட நூல்களும் கருதுவதாகும். சிவப்பு முனைப்பக்கம் இடப்பெயர்வு ஏற்படுவது அந்தப் பொருள் நம்மைவிட்டு அகலுவதனாலாகும். இந்த இரண்டு இடப்பெயர்வுகளும் டீஸிட்டரின் கோட்பாட்டின்படி ஒன்றுக்கொன்று தொடர்புடையனவாகும். ஏனென்றால், அருகிலிருக்கும் இரண்டு பொருள்கள் ஒன்றைவிட்டு ஒன்று பிரிந்து செல்லவேண்டியது அவசியமாகும். (டீஸிட்டரின் கோட்பாட்டின்படி) ஒரு நீரோட்டத்தில் எறியப்பட்ட வைக்கோல் எப்படிப் பிரிந்து தனித்தனியாக செல்லுகின்றதோ அதேபோல் டீஸிட்டரின் பேரண்டத்தில் கால ஓட்டத்தில் மிதந்து செல்லும் பொருள்கள் தனித் தனியாகப் பிரிந்துவிடும்.

விரியும் பேரண்டம்

ஐன்ஸ்டைன், டீஸிட்டர் இவர்களுடைய பேரண்டக் கோட்பாடுகள் ஒன்றுக்கொன்று முரண்பாடுடையன என்று முதன்முதலில் நினைத்

தார்கள். ஏனென்றால், ஒரே பேரண்டம் இரண்டு கோட்பாடுகளுக்கும் பொருந்தியதாக இருக்கமுடியாது. ருஷ்ய தேசத்தைச் சேர்ந்த ஃப்ரீட்மான் (Friedmann 1922) என்பவரும், பெல்ஜிய தேசத்தைச் சேர்ந்த லெமய்த்திரி (Lemaitre 1929) என்பவரும் பொருளைப்பற்றி வேறு கருத்துகளைக் கூறினார்கள். இவ்விருவரும் ஐன்ஸ்டைன், டீஸிட்டர் இவர்களுடைய கோட்பாடுகள் முரண்பட்டவை அல்ல என்றும் இவை ஒன்றுக்கொன்று பொருத்தமானவை என்றும் தெரிவித்தனர். ஏனென்றால், எந்தப் பேரண்டமும் ஐன்ஸ்டைன் கருதிய நிலையில் நிரந்தரமாக இருக்கமுடியாது என்று காண்பித்தனர். இந்தமாதிரி இருக்கும் ஒரு பேரண்டம் அதே நிலையிலில்லாமல் விரிந்துகொண்டே போய் டீஸிட்டர் பேரண்டமாக மாறிவிடும். இத்துடன் இல்லாமல் நாம் மேற்சொன்னபடி, மேலும் மேலும் விரிந்து டீஸிட்டர் கருதிய விரிவைப் பெறும்.

மேற்சொன்ன கருத்துகளின் காரணமாகப் பேரண்டக் கோட்பாடு ஒரு மாற்றம் அடைந்தது. அதாவது, பேரண்டம் ஐன்ஸ்டைனின் பேரண்டமா அல்லது டீஸிட்டரின் பேரண்டமா என்று முக்கியமாகக் கருதப்படவில்லை. ஆனால், இஃது ஐன்ஸ்டைனின் பேரண்டமாக ஆரம்பித்து டீஸிட்டரின் பேரண்டமாக முடிய எவ்வளவு காலம் பிடித்தது என்பது முக்கிய பிரச்சினையாகக் கருதப்பட்டது.

இதற்கு விடையை ஆராய்ச்சியிலேதான் காணமுடியும். ஐன்ஸ்டைனின் பேரண்டத்தின் அடிப்படைப் பேரண்டம் வானவெளியில் அசைவற்றதாகும் என்பதே. இந்தப் பேரண்டத்திலுள்ள பொருள்களும் அசைவற்றன. ஆனால், டீஸிட்டரின் பேரண்டம் விரிந்துகொண்டே போகின்றது. ஆகையினால் இதில் ஒரு பொருளுக்கும் மற்றொரு பொருளுக்கும் உள்ள தூரம் அதிகரித்துக்கொண்டே போகும். ஒவ்வொரு பொருளுக்கும் தனி அசைவிருந்தாலும் எல்லாவற்றுக்கும் சேர்ந்து ஒரு பொது அசைவுண்டு. இது வானவெளியின் விரிவினால் ஏற்படும். வைக்கோல் செல்லும் திசையிலிருந்து நீரோட்டத்தின் திசையை நிர்ணயிப்பதுபோல் அண்டத்தின் விரிவையும் கண்டுபிடிக்கலாம். இந்த அசைவு ஒவ்வொரு பொருளுக்கும் இடையில் உள்ள தூரத்திற்குச் சமமான வேகத்தில் ஏற்படும்.

இந்த அசைவு டீஸிட்டரின் அண்டத்தைத் தவிர ஐன்ஸ்டைன், டீஸிட்டர் அண்டங்களுக்கு இடையிலுள்ள எல்லா அண்டங்களுக்கும் பொருத்தமாகும். ஆகையினால், இந்த மாற்றத்திற்குள் எந்த நிலையில் நம் பேரண்டம் இருந்தாலும் இதை ஆராய்ச்சியிலிருந்து கண்டுபிடித்து விடலாம். இதற்கு முதலாக நாம் தனிச்சிறப்பு அண்ட நெபுலாக்களை எடுத்துக்கொள்ளலாம். ஏனென்றால், இவைகளில்தான் வேகங்களை நன்றாகக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

நம் கோட்பாட்டிற்கு ஏற்ற அசைவு தனிச்சிறப்பு அண்ட நெபுலாக்களினதாகும். அண்டத்தைச் சுற்றி ஞாயிற்றின் அசைவை எடுத்துக் கொண்டால் நமக்குத் தெரிந்த எல்லா நெபுலாக்களும், ஒரு சிலவற்றைத் தவிர, அண்டத்தின் மையத்திலிருந்து அவற்றின் தூரத்திற்கு ஏற்ற வேகத்தில் விலகிச் செல்கின்றன. இஃது அண்ட 'விரிவுக் கோட்பாட்டின் படி பொருத்தமானதாகும். இந்த வேகம் ஒரு மிலியன் ஒளியாண்டு தூரத்திற்கு நொடிக்கு 105 மைல்களாகும்.

ஆகையினுல், ஆராய்ச்சியின்மூலம் அண்டவிரிவுக் கோட்பாடு சரியா என்று உறுதிப்படுத்துவதோடு பொதுத் தொடர்புக் கோட்பாடும் சரியானதே என்றும் தெரிகின்றது. ஆகையினுல், ஐன்ஸ்டைன் கூறிய வகையில் பேரண்டம் ஒருகாலத்தில் இருந்தாலும் அந்த நிலேயிலிருந்து இப்பொழுது மாறி இருக்கவேண்டும்.

ஆனுல், சோதனேமட்டும் நம் பேரண்டம் எவ்வளவு தூரம் இது வரை பிரயாணம் செய்திருக்கின்றது என்பதைத் தெரியப்படுத்தாது. சமீபத்தில் ஸர் ஆர்தர் எடிங்டன் (Sir Arthur Eddington) என்பவர் மிகவும் கூர்மையான ஒரு கோட்பாட்டு முறையில் இதற்கு ஒரு விடையைக் கண்டுபிடிக்க முயன்றிருக்கிருர். இதற்கோர் உதாரணம் கொடுப்போம். ஒரு வியாபாரி ஒரு சுருள்வில் தராசில் (spring balance) சர்க்கரைப் பொட்டலத்தை வைத்து அதன் எடையை நிர்ணயிப்பதாக நினேப்பான். ஆனுல், அவன் உண்மையில் கண்டுபிடிப்பது புவிக்கும் சர்க்கரைக்கும் உள்ள ஈர்ப்பு ஆற்றல் திறனுகும். அவன் அந்தத் தராசில் சர்க்கரைப் பொட்டலத்தையும் எடுத்துக்கொண்டு ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தில் சுற்றினுல் அந்த பொட்டலத்தின் எடை ஒவ்வொரு கோளிலும் ஒவ்வொன்ருக இருக்கும். வியாழனில் புவியிலுள்ள எடையைப்போல் $\frac{2}{3}$ பகுதியும் புதனில் $\frac{1}{4}$ பங்கும் இருக்கும். இந்தநிலேயில் வியாபாரி சர்க்கரையை எடை பார்க்கிருன் என்று சொல்ல முடியாது. கோள்களேத்தான் எடை போடுகிருன் என்று சொல்லவேண்டும். இந்தநிலேயில் உண்மையாக இரண்டு பொருள்களின் எடைகளும் சம்பந்தப்பட்டவையாகும். அதாவது, ஒரு பொருளின் எடை தெரிந்தால் மற்ருெரு பொருளின் எடையைக் கண்டுபிடித்துவிடலாம். ஆனுல், இரண்டு பொருளின் எடையும் தெரியாவிட்டால் நாம் எதை எடைபோடுகின்ருேம் என்று சொல்வது ஒரு கருத்துரிமையாகும்.

பௌதிக ஆராய்ச்சிகளில் எலக்ட்ரான் என்ற சிறிய துகள்களின் எடையை நிர்ணயிப்பதற்குத் தகுந்த பரிசோதனேகள் நடத்தப்படுகின்றன. ஒரு சுருள்வில் தராசில் எடையை நிர்ணயிப்பதற்கு எப்படிப் புவியின் எடையும் சர்க்கரையின் எடையும் எடுத்துக்கொள்ளவேண்டுமோ அதைப்போல் மேற்சொன்ன பரிசோதனேகளிலும் துகள்களின் எடைகளும் மொத்தப் பேரண்டத்தின் எடையும் எடுத்துக்கொள்ளப்

படவேண்டும் என்று ஐன்ஸ்டைனும் மாக்கும் (Mach) கருதினார்கள். ஆகையினால், ஒரு பொருளையோ அல்லது மற்றொரு பொருளையோ எடை போடுவதாகச் சொல்வது சோதனையாளரின் கருத்தே ஆகும். ஆகையினால், பேரண்டத்தின் எடையை நிர்ணயிப்பது சாத்தியமாகின்றது. இஃது ஒரு பவுண்டு சர்க்கரையின் எடையிலிருந்து புவியின் எடையை எப்படிக் கண்டுபிடிக்கின்றோமோ அதைப்போலத்தான். எடிங்டன் என்பவர் பேரண்டத்தின் எடையை $1 \cdot 08 \times 10^{22}$ ஞாயிறுகளுக்குச் சமம் என்று கணக்கிட்டிருக்கிறார்.

விரியும் பேரண்டத்தை ஐன்ஸ்டைனின் பேரண்டமாக முதலில் இருந்ததாகவும், அப்பொழுது இது பொருள் நிரம்பியதாக இருந்தது என்றும் நாம் கருதினோம். கணக்கீட்டின்படி $1 \cdot 08 \times 10^{22}$ ஞாயிறுகளின் அளவு பொருண்மையுடைய ஒரு ஐன்ஸ்டைனின் பேரண்டத்தின் அரைவிட்டம் 1068 மிலியன் ஒளியாண்டுகளாகும் என்று கண்டறியலாம். ஆகையினால், எடிங்டனின் கோட்பாடு நம்பக்கூடியதாக இருந்தால், நம் பேரண்டம் முதலில் இந்த அளவிலிருந்து படிப்படியாக விரிந்து கொண்டே இருந்திருக்கவேண்டும். பொதுப் பொறியியல் கோட்பாட்டின்படி கீழே விழும் ஒரு பொருளின் வேகம், அதன் உயரத்தைப் பொறுத்திருக்கிறது. இதேமாதிரி நெபுலாக்களின் வேகம் பேரண்டம் எவ்வளவு விரிந்திருக்கிறது என்பதைப் பொறுத்திருக்கிறது என்று சொல்லலாம். இன்னும் குறிப்பாகச் சொல்லப்போனால், முதன்முதலில் பேரண்டத்தின் அரைவிட்டம் எவ்வளவு என்பதைப் பொறுத்திருக்கிறது. ஆகையினால், பேரண்டத்தின் அரைவிட்டம் முதன்முதலில் 1068 மிலியன் ஒளியாண்டுகளானால், நெபுலாக்களின் தொலைவுகள் எந்த அளவில் அதிகரிக்கின்றன என்பதைக் கணக்கிடமுடியும். எடிங்டனால் கணக்கிடப்பட்ட இந்த வேகங்கள் சோதனைமூலம் கிட்டத்தட்ட உறுதியாயிற்று.

ஆகையினால், அவர் பேரண்டத்தை முதன்முதலில் 1068 மிலியன் ஒளி ஆண்டுகள் அரைவிட்டமுடைய ஒரு ஐன்ஸ்டைனின் பேரண்டம் என்றும், அப்பொழுது அதிலுள்ள பொருள் $1 \cdot 08 \times 10^{22}$ ஞாயிறுகளுக்குச் சமம் என்றும் கருதினார். இந்தப் பொருள் முதன் முதலில் உள்ள பேரண்டத்தில் சமமாகப் பரப்பப்பட்டால் ஒரு கன ஸெண்டி மீட்டருக்கு 2×10^{-27} கிராம்கள் ஆகும் அல்லது பொருளின் தற்போதைய சராசரி அடர்த்தியைப்போல் 10 அல்லது 20 மடங்குகளாகும் என்று சொல்லலாம். ஆகையினால், பேரண்டத்தின் சராசரி அடர்த்தி முன்னே இருந்ததுபோல் 10 அல்லது 20 மடங்கு குறைந்திருக்கிறது என்று சொல்லலாம். அதாவது பேரண்டத்தின் நீட்டுப் பரிமாணம், இரட்டிப்பு ஆயிற்று என்றும், அதனால், அதன் அரைவிட்டம் 2000 மிலியன் ஒளி ஆண்டுகள் அதிகமாக இருக்கும் என்றும் சொல்லலாம்.

எடிங்டனின் கோட்பாட்டினுல் கணக்கிடப்பட்ட இந்த மதிப்பீடு களை ஏற்றுக்கொள்ளும் வானநூல் அறிஞர்கள் வெகு சிலரே என்றும், மற்றபடி ஒவ்வொருவரும் பேரண்டத்தின் தற்போதைய அளவைப்பற் றித் தனித்தனி மதிப்பீடுகளைக் கொடுத்திருக்கிருர்கள் என்றும் சொல்லலாம்.

நாம் செய்யக்கூடிய எந்த மதிப்பீடுகளானுலும் நம் தொலைநோக்கி யால் காணக்கூடிய பகுதி வானவெளியில் மொத்தப் பகுதியில் ஒரு சிறி தளவேயாகும். அதாவது 1000-ல் ஒரு பங்காகும். இருந்தாலும் நாம் ஆராயக்கூடிய பகுதி இன்னும் அதிகமாக இருக்கின்றது. இதில் வியப் படைவதற்கு ஒன்றுமில்லை. மனிதன் புவியில் 300,000 ஆண்டுகள் வாழ்ந்திருக்கிருன். இதில் அவன் தொலைநோக்கியைப் பயன்படுத்திய காலம் 300 ஆண்டுகள்தான். இந்தச் சொற்ப காலத்தில் வானவெளி முழுவதையும் ஆராய்வது முடியாத காரியம். நம்முடைய வான ஆராய்ச்சியாளர்கள் தங்களுடைய புவியில் ஒரு தீவிலிருந்து மற்ரெரு தீவிற்குச் சென்று ஆராய்ச்சியை நடத்துகின்ருர்கள். இருந்தாலும் கோளம் முழுவதும் சுற்றிவர இன்னும் முடியவில்லை. பழையகாலத்தில் புவியியல் அறிஞர்கள் எப்படிப் புவியின் பரிமாணத்தைக் கணக்கிட்டார் களோ அதேபோல் வானவியல் அறிஞர்கள் தங்களுக்குப் புலனுகும் பகுதிகளைக்கொண்டே வானத்தின் முழு பரிமாணத்தையும் கணக்கிட முனைகின்றனர். இது முற்றிலும் சரியானதாகாது. நமக்கு அடுத்த பரம்பரையினர், புவியின் மேற்புறத்தை எப்படி நாம் எல்லையற்ற, ஆனுல் அளவுள்ள ஒரு பொருளாக நினைக்கின்ருேமோ, அதேபோலவே வானவெளியையும் எல்லையற்ற ஆனுல் அளவுள்ள ஒரு பொருளாகக் கருதுவார்கள்.

பேரண்டத்தின் வயது

கோட்பாட்டைத் தவிர ஆராய்ச்சியின்மூலமாகவே பேரண்டம் ஒவ்வொரு மிலியன் ஒளி ஆண்டுகளுக்கும் நொடிக்கு 105 மைல் வேகத்தில் விரிந்துகொண்டே போகின்றது என்பதைப் பார்த் தோம். இதை வேறுவிதத்தில் சொல்லப்போனுல் 20 மிலியன் ஆண்டு களுக்கு ஒருமுறை பேரண்டம் பரிமாணத்தில் ஒரு சதவீதம் அதிகரிக் கிறது எனலாம். நாம் மேற்சொன்ன கோட்பாட்டின்படி இந்த அதி கரிக்கும் விகிதம் ஓரளவிற்குப்பிறகு கிட்டத்தட்ட ஒரேஅளவில் இருக் கும். ஆகையினுல், இந்த அதிகரிப்பைக் 'கூட்டுவட்டி' விகிதத்தில் இருக்கின்றது என்று வைத்தால் பேரண்டத்தின் பரிமாணம் 1434 மிலி யன் ஆண்டுகளில் இரட்டிப்பு அடையும் என்றும் 4300 மிலியன் ஆண்டு களில் 8 மடங்காகும் என்றும் சொல்லலாம். ஆகையினுல், மொத்த அதி கரிப்பும் இரட்டிப்பு அடைவது என்று வைத்தால் அண்டத்தின் முக்கிய விரிவு கடந்த 2000 மிலியன் ஆண்டுகளில்தான் இருந்திருக்கவேண்டும்.

இத்துடன் பேரண்டம் விரிய ஆரம்பிக்க எவ்வளவு ஆண்டுகள் ஆயிற்று என்பதைச் சேர்த்துக்கொள்ளவேண்டும். ஆனால், இஃது எவ்வளவு என்பதை நிர்ணயிப்பது கடினம். முதலில் ஐன்ஸ்டைனின் பேரண்டம் ஒரு குச்சியை அதன் முனையில் நிறுத்தினால் எப்படி நிலை யற்றதாய் விழுந்துவிடுமோ, அதேபோல் நிலையற்றதாயிருந்தது என்று சொல்லலாம். முனையில் நிறுத்தப்பட்ட குச்சி எப்படி ஏதோ ஒரு சிறு அசைவினால் கீழே விழுந்துவிடுகின்றதோ அதைப்போல்தான் ஏதோ ஒரு சிறிய கலவரத்தினால்தான் பேரண்டம் விரிய ஆரம்பித்திருக்க வேண்டும். குச்சி விழுவதற்கு எப்பொழுது ஆரம்பித்தது என்பதைக் கண்டுபிடிக்க, அஃது எதனால் விழுந்தது என்பதை அறியவேண்டும். இதேபோல் பேரண்டம் விரிய ஆரம்பிப்பதற்கு எவ்வளவு காலம் ஆயிற்று என்பதை, அறிவதற்கு மேற்சொன்ன வகையில் தகுந்த காரணங்கள் தெரியவேண்டும். இது நமக்குத் தெரிவது கடினமாகும்; தெரியவே தெரியாது. ஆனால், சில கோட்பாட்டு வகையில் கலவரத்திற்கு எவ்வளவு காலமாயிற்று என்பதைக் கணக்கிட்டுவிடலாம். லெமய்த்திரி என்ப வரால் கணக்கிடப்பட்டதில் இதற்கு 30,000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்கு மேல் பிடித்திராது என்று தெரிகின்றது.

இதர நிகழ்ச்சிகள்

மேற்சொன்ன கோட்பாடுகளின்படி பேரண்டம் விரிந்துகொண்டே போகின்றது என்பதாலும் நேர்முக ஆராய்ச்சியினால் இஃது உறுதிப் படுவதனாலும் நம்முடைய உற்சாகத்துக்கு எல்லையே இல்லை. இருந் தாலும் அடிப்படைக் கருத்துகளை மிகைப்படுத்திச் சொல்லாமல் சரியானபடி விளக்கவேண்டும்.

விஞ்ஞானம் இதுவரை உலக நிகழ்ச்சிகளை நமக்குச் சம்பந்த மில்லாத ஒரு வானவெளியில் நிகழ்ந்துவந்ததாகக் கருதியது. இந்த உண்மை வெளியில்தான் விண்மீன்களும், நெபுலாக்களும், அணுக் களும், இன்னும் இதர பொருள்களும் இயங்கிவந்ததாகக் கருதினோம். இதற்கு ஓர் ஆதாரமும் கிடையாது. ஏனென்றால், பேரண்டத்தைப் பற்றிய விவரங்களை எல்லாம் நம் புலன்கள்மூலமாகவும், தொலை நோக்கி, நிறமாலைகாட்டி முதலிய கருவிகள்மூலமாகவும் அறிந்தோம். விஞ்ஞானம் செய்யக்கூடியது யாதெனில், மேற்சொன்ன அனுபவங் களைச் சித்திரிக்கும் ஒரு மாதிரி உருவத்தின்மூலம் விளக்குவதேயாகும். *A*, *B* என்ற இரண்டு அமைப்புகளை எடுத்துக்கொண்டால் இதில் எது சிறந்தது என்று சொல்வது கடினம். ஒன்றை ஒன்று முரண்பட்ட தாக ஆக்கும் ஏதாவது ஒரு புதிய நிகழ்ச்சி ஏற்பட்டால்தான் ஏதாவது சொல்லமுடியும். இவ்வாறு *A* தள்ளுபடியானால் அப்படிக்கூட *B* சரி யானது என்று சொல்லமுடியாது. ஏனென்றால், *C* என்ற மூன்றாவது அமைப்பு *B*-யைப் போன்றே இருக்கலாம். உதாரணமாக, ஐன்ஸ்டைன்

நியூடனின் காலத்தில் தோன்றி தொடர்புக் கோட்பாட்டின்படி வளைந்த மேற்புற அமைப்பைப்பற்றிச் சொல்லி இருந்தால், நியூடனின் ஈர்ப்பு ஆற்றல் விசையுள்ள பேரண்டம் ஐன்ஸ்டைனின் விசை ஒன்றுமில்லாத வளைந்த மேற்புறமுடைய பேரண்டம் இவைகளில் எது சிறந்தது என்று நிர்ணயிக்கும் வாய்ப்பே ஏற்பட்டிருக்காது. இவை முதலில் நமக்கு விளங்கக்கூடியதாக இருக்கவேண்டும்; இரண்டாவதாக விஞ்ஞானப் பரிசோதனையின்படி நடக்கக்கூடியதாக இருக்கவேண்டும்.

ஆகையினால்தான் இதர விரிவுக்கோட்பாடுகள் ஏற்பட்டிருக்கின்றன. இவை வெவ்வேறுவகைப்பட்ட காட்சிகளை அளிக்கின்றன. இவைகள் எல்லாவற்றையும்பற்றி சுருக்கமாகக்கூட சொல்ல இயலாததனால் இரண்டைப்பற்றிமட்டுமே இங்குக் குறிப்பிடுவோம்.

பலவகை வானவெளிகள்

வானவெளிப் பாதைகள் ஒரு வளைந்த மேற்புறத்தில் நேர்ப்பாதைகளென ஐன்ஸ்டைன் எப்படிக் கருதினார் என்று பார்த்தோம். சுற்றுப் பாதைகள் பெரிய பொருள்களின் அருகில் மிகவும் வளைந்திருக்க வேண்டும். ஆகையினால், இம்மாதிரியான பொருள்களின் வானவெளி மிகவும் வளைந்திருக்கவேண்டும் என்று ஐன்ஸ்டைனின் கோட்பாடு கூறுகிறது. ஆகையினால் இப் பொருள்களை வானவெளியில் வளைவிற்குக் காரணம் என்று சொல்லலாம்.

ஐன்ஸ்டைன், வானவெளி இந்த அளவிற்குமேல் வளைந்திருந்தால் மிகவும் நிலையற்றதாய்ப் போய்விடும் என்றும், இவ்வாறு நேராமல் இருக்கவேண்டும் என்றால் சில கடினமான கட்டுப்பாடுகளைப் பூர்த்தி செய்யவேண்டும் என்றும் கண்டறிந்தார். இதைத் தவிர்க்க வானவெளி தன்னுடைய அமைப்பின் காரணமாக இன்னும் வளைந்திருக்க வேண்டும் என்று கருதினார். இது பெரிய பொருள் இல்லாவிடினும் தேவையானதாகும் என்றும் இந்த வளைவு ஒரே அளவில் இருக்கும் என்றும் அவர் கருதினார். இதன் அளவை ‘வானவியல் நிலைஎண்’ (cosmical constant) என்பதனால் அளக்கலாம். இஃது எல்லாத் திசைக்கும் எல்லா இடங்களுக்கும், குறிப்பாகச் சொன்னால் மொத்தப் பேரண்டத்திற்கும் ஒரே அளவாகத்தான் இருக்கும். வானவெளியைப் புவியின் மேற்புறத்திற்கு ஒப்பிட்டால் வானவியல் நிலைஎண் புவியின் அரைவிட்டத்திற்கு ஏற்ற அளவில் இருக்கும். புவியின் அருகிலுள்ள பெரிய பொருள்களினால் மேற்புறத்தில் மலை, பள்ளத்தாக்கு, சிறு குன்றுகள், முயற்குழிகள் என்ற வளைவு வித்தியாசங்கள் ஏற்படும். இவை சிறிதளவேயாகும்.

ஐன்ஸ்டைன் முதன்முதலில் ஏற்படுத்தியதற்குக் காரணம் ஒரு நிலையான பேரண்டத்தை வேறு எந்த வகையிலும் உருவாக்க

முடியாததேயாகும். இது நெபுலாக்கள் ஒதுங்கிச் செல்வதைக் கண்டறிவதற்கு முன்பாகும். ஆனால், இவை இப்பொழுது பேரண்டம் ஒரே நிலையுள்ளதன்று என்பதை உணர்த்துவதனால் இந்த வானவியல் நிலை எண் இல்லை என்றே கொள்ளவேண்டும். இவரும் டீஸிட்டரும் சேர்ந்து இந்த வானவியல் நிலைஎண்ணைப் புகுத்துவதற்கு வேறு ஏதாவது காரணமுண்டா என்று ஆராய்ந்தார்கள். அதற்கு ஒரு காரணமும் கிடைக்கவில்லை. நெபுலாக்கள் விலகிச் செல்வதை வானவியல் நிலை எண் ஒரு குறிப்பிட்ட எல்லைக்குள் இருப்பதற்குப் பொருந்தும் என்றும், இந்த எல்லைக்குள் பூஜ்ஜியத்தையும் சேர்த்துக்கொள்ளலாம் என்றும், அதாவது வளைவே இல்லாத ஒரு வானவெளியையும் சேர்த்துக் கொள்ளலாம் என்றும் கருதினார்கள்.

டீஸிட்டர் என்பவர் பிறகு ஆராய்ச்சி நடத்தியதில் மேற்சொன்னவாறு வானவியல் நிலைஎண் இருந்தால் இன்னும் இரண்டு புதிய வகை அண்டங்கள், விரியும் அண்டங்களைத் தவிர, ஏற்படுமென்று அறிந்தார். இதில் ஒருவகை முதலிலேயே விரிந்ததாக ஏற்பட்டுப் பிறகு குறுகி ஒரு குறைந்தபட்ச எல்லையை அடைந்து மறுபடியும் தொடர்ச்சியாக விரிந்துகொண்டேபோகிறது என்றறிந்தார். இன்னொருவகை ‘அலைகின்ற வகை’ (oscillating type). இதில் பேரண்டம் குறிப்பிட்ட கால அளவில் மாறிமாறி விரிந்தும் குறுகியும் வரும். இதைத் தவிர இன்னும் இதரவகைப் பேரண்டங்கள் உள்ளன. இவை தம்மிடத்திற்குரிய வளைவைத்தவிர (local curvature) வேறு எந்தவித வளைவும் இல்லாத பேரண்டங்களாகும். இந்த வளைவு அருகில் ஈர்ப்பு விசையுடைய பொருள்களினாலும் ஐன்ஸ்டைனின் பேரண்டத்தைப்போல் இல்லாமல் வேறுவித எதிரான வளைவுகளுடைய பேரண்டங்களினாலும் ஏற்படுகின்றது.[1]

தற்போதைய ஆராய்ச்சியின்படி வானவெளியில் பெரும் அளவில் ஏற்படும் மாறுதலுக்கு மேற்சொன்ன எந்தவகைப் பேரண்டங்களாகினும் ஒன்றேதான். ஆகையினால், வானவெளியில் வரம்புள்ளது அல்லது வரம்பில்லாதது என்று சொல்லுவதற்கு யாதொரு காரணமும் இல்லை. ஆகையினால், நாம் கண்டறியும் வான நிகழ்ச்சிகள் இரண்டுவகை வான அமைப்புகளிலும் ஏற்படலாம்.

ஐன்ஸ்டைன்-லெமய்த்திரி பேரண்டத்தில், பேரண்டத்தின் கடந்த காலம் 30,000 மிலியன் ஆண்டுகள் அல்லது கிட்டத்தட்ட வரம்புள்ள இதேபோன்ற ஓர் அளவாகும் என்று பார்த்தோம். ஆனால், மேற்

1 வளைவு ஒன்றும் இல்லாத ஒரு வானவெளியில் கனபரிமாணம் r அளவு தூரத்தில் r^3 என்ற விகிதத்தில் அதிகரிக்கும். ஐன்ஸ்டைனின் வளைவுள்ள வானவெளியில் இந்த அதிகரிப்பு r^3-க்கும் குறைவாகும். இதற்கு எதிரான வளைவையுடைய ஒரு வானவெளியில் இது r^3-க்குமேல் அதிகரிக்கும்.

சொன்ன இதரவகைப் பேரண்டங்களுக்கு இம்மாதிரி ஒரு வரம்பும் கிடையாது. இவற்றில் காலத்திற்கு முதல் அல்லது முடிவு உண்டா என்றுகூடச் சொல்லமுடியாது.

மில்ன் என்பவரின் கோட்பாடு (Milne's theory)

1932ஆம் ஆண்டில் பேராசிரியர் மில்ன் என்பவர் கோட்பாட்டு முறையில் முன்சொன்னவற்றைவிட மாறுபட்ட ஒரு கோட்பாட்டைத் தந்தார். ஒரு வெடிகுண்டு வெடித்ததும் அதில் உள்ள துண்டுகள் வெளியேறி பலதிறப்பட்ட வேகங்களில் சிதறும். அதனல் குறிப்பிட்ட ஒரு நேரத்தில் இந்தத் துண்டுகள் வெவ்வேறு தூரங்களில் இருக்கும். மிகவும் தொலைவில் இருக்கும் துண்டுகள் அதிக வேகமாகச் செல்லும்—தூரம் வேகத்திற்குத் தகுந்தாற்போல் அதிகரிக்கும். இது நெபுலாக் களின் நேர்வேகத்தைப்போலவேயாகும். இதை வைத்தே, வளைவு ஒன்றுமில்லாத ஒரு வானவெளியில் நெபுலாக்கள் அகன்று செல்வதாக வும், இதனல், நமக்கு அனுபவத்தில் தெரிந்த வானவெளியில் இவை இயங்குவதாகவும் கருதினர்.

அவருடைய முதல் ஆராய்ச்சி 'வானவியல் தத்துவம்' (cosmological principle) என்று அவரால் அழைக்கப்பட்ட கோட் பாட்டு வகையில் இருந்தது. நம்முடைய அண்டத்திலிருந்து இதர அண்டங்களைப் பார்த்து அவை எல்லாத் திசைகளிலும் பிரிந்து செல்வதைக் காணலாம். இது, நாம் ஏற்கெனவே சொன்ன எளிய விதியை உறுதிப்படுத்துகிறது. ஆனல், இதேமாதிரி இன்னொரு அண்டத்திற்குச் சென்று இதர அண்டங்களைப் பார்த்தால் இதே விளைவு தான் ஏற்படும் என்று கருதலாம். இதை மறுப்பதற்கு முடியாது. அப்படி இருந்தால், பேரண்டத்தில் நாம் ஒரு பிரத்தியேக இடம் பெற்றிருக்கிறேம் என்று பொருளாகும். நம்மிடம்மட்டுமே அண்டங் கள் விலகிச் செல்லுவானேன் ?

வானவியல் தத்துவத்தின்படி நாம் ஒரு பிரத்தியேக நிலையில் இல்லை. நம் அண்டத்திலிருந்து ஒரு பார்வையாளர் பிரம்மாண்டமான வான நிகழ்ச்சிகளை எப்படியெல்லாம் காண்கின்ருரோ அதேபோல்தான் இதர அண்டங்களிலிருந்தும் காண்பார்.

இந்தக் கோட்பாட்டை வைத்து மில்ன் என்பவர் ஐன்ஸ்டைன், லெமய்த்திரி என்பவர்களால் கொடுக்கப்பட்ட பேரண்டத்தைவிட மாறு பட்ட ஒரு பேரண்டத்தைக் கொடுத்திருக்கிருர் என்று நமக்கு முதலில் தோன்றும். ஆனல், ஒரு வரைபடத்தைப் பல கோணங்களில் வரைவது போல் மேற்சொன்ன பேரண்ட உருவமும் ஒரேவகையைச் சேர்ந்தது தான் என்று ஏன் கருதக்கூடாது. ஐன்ஸ்டைனின் வானவெளியைப் பற்றிய கருத்தைப் புவியின் மேற்புறத்திற்கு ஏற்கெனவே ஒப்பிட்டோம்.

ஆனல், புவியின் மேற்புறத்தை ஒரு கோளத்தின்மேல் நீட்டிப் (project) பார்க்கலாம். உதாரணமாகப் புவியியலுக்கான ஒரு கோளத்தின்மேல் அல்லது 'மெர்கேட்டர், ஸ்டீரியோகிராபிக்' (Mercator stereographic) நீட்டங்களில் உலகப்படங்களில் (Atlas) காட்டுவதுபோல் செய்யலாம். மெர்கேட்டரின் நீட்டம் ஒரு கோள வரைபடத்துடன் ஒப்பிட்டு நிற்கும் வகையில்தான் மில்னின் பேரண்ட உருவமும், ஐன்ஸ்டைன் லெமய்த்திரி பேரண்ட உருவங்களும் ஒப்பிடும் வகையில் இருக்கின்றன என்று கெர்மாக் (Kermack) என்பவரும் மக்ரீ (McCrea) என்பவரும் காண்பித்திருக்கின்றனர். ஆகையினுல், மில்னின் கோட்பாடு நாம் ஆராய்வதற்கென்று ஒரு புதிய அண்டத்தை ஒன்றும் கொடுக்கவில்லை. ஐன்ஸ்டைன் லெமய்த்திரி இவர்களின் பேரண்டத்தைப்போலவே பௌதிகத் தன்மைகளை உடையதாகும். ஆகையினுல், நாம் ஏற்றுக்கொள்ளக்கூடிய அமைப்புகள் இரண்டு வகையிலும் எந்த வகை சிறந்ததென்று சோதனைமூலம் நிர்ணயிப்பது கடினம்.

மில்ன் என்பவர் தம்முடைய கோட்பாடு தொடர்புக் கோட்பாட்டினுல் கொடுக்கமுடியாத சில கேள்விகளுக்கு விடைகளைச் சரியாகக் கொடுக்கின்றது என்று கருதுகிருர். உதாரணமாக:

(1) பேரண்டம் விரிகிறதா இல்லையா?

(2) இஃது எல்லையுள்ளதா அல்லது எல்லை இல்லாததா?

(3) இதிலுள்ள பொருள்களின் எண்ணிக்கை வரம்புள்ளதா இல்லையா?

(4) வானவெளி வளைந்ததா சமதளமானதா?

(5) இதன் பூர்வ சரித்திரகாலம் எல்லையுள்ளதா இல்லாததா?

(6) பேரண்டம் ஒரே தன்மையானதா?

இந்தக் கேள்விகளுக்கு விடை நாம் காலத்தை எப்படி அளக்கின்ருேம் என்பதைப்பொறுத்திருக்கிறது. ஏனென்ருல், நேரத்தைப் பலவிதங்களில் அளக்கலாம். இதில் எந்தவிதமென்பது நம் இச்சையைப் பொறுத்திருக்கிறது. ஆனல், நாம் அளக்கும் முறை அண்டத்தில் இதர பகுதிகளில் உள்ளவர்கள் எல்லோருக்கும் பொருந்தியதாக இருக்கலாம் என்று மில்ன் கருதுகிருர். உதாரணமாக, நியூடனின் முறைப்படி புவியின் சுழற்சிப் போழ்தையோ அல்லது புவி ஞாயிற்றைச் சுற்றி வருவதற்காகும் போழ்தையோ அளவு முறையாக வைக்கலாம். இப்படிச் செய்தால் இயல்நூல் விதிகள் நமக்குத் தெரிந்த நியூடன் விதிகளாக இருக்கும். இதேமாதிரி அண்டத்தின் இதர பகுதிகளிலும் தொடர்ந்து நடக்கும் வான நிகழ்ச்சிகளினுல் நியூடனின் வகையைச் சேர்ந்த விதிகளைக் கொடுக்கும். இந்தமாதிரி நாம் காலத்தை அளந்தால் பேரண்டம்

விரியவில்லை என்றும், அதன் கடந்தகாலம் எல்லையற்றதென்றும், வான வெளி வளைந்ததென்றும் எல்லையற்றதென்றும் மில்ன் கருதுகிறார்.[1]

அண்டத்தின் உருவத்தை இன்னொரு வகையில் வரையலாம். அதாவது, வானபாதைக்குப் பதில் ஓர் அணுவின் பாதைப் போழ்தைக் கால அளவாக வைத்து வரையப்படலாம். 1943-ஆம் ஆண்டில் இது முன் கொடுக்கப்பட்ட வான அளவில் ஒரு சிறு பின்னமேயாகும். ஆனால், இந்தப் பின்னமும் எப்பொழுதும் ஒரே அளவில் இருந்ததில்லை என்று மில்ன் கருதுகிறார். இந்த இரண்டு கால அளவுகளும் மாறிக் கொண்டே போகின்றன. உதாரணமாக, நெபுலாக்களின் ஒளி பயணம் செய்யும் காலத்திலேயே இந்தப் பின்னமும் மாறி இருக்கும். இதனால் தான் அவைகளின் நிறமாலை எப்பொழுதும் சிவப்பு முனைப்பக்கம் தள்ளிக் காணப்படுகின்றன. ஆனால், அணுப்போழ்துகள் நியூடனின் அளவு முறைப்படி இதைவிடக் குறைந்ததாகும்.

படத்தை இந்த இரண்டாவது திரையில் வரைந்தால், பேரண்டம் ஒரே வேகத்தில் விரிகின்றதென்றும், இதன் கடந்தகாலம் எல்லையுள்ளதாகும் என்றும், இதன் வானவெளியும் எல்லையுள்ளதாகும் என்றும் காண்போம். எந்தத் திரையில் படத்தை வரைந்தாலும் பொருள்களின் எண்ணிக்கை அளவற்றதாகும். ஆனால், பொருளின் 'மொத்த எடை' அளவுள்ளதாகும். நாம் மில்னின் அண்ட அமைப்பை ஓர் உலகப் படத்தில் கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் தட்டை வரைபடத்திற்கும், இதற்கு மாறாகக் கோளத்தின்மேல் வரையப்பட்ட ஐன்ஸ்டைன்-லெமய்த்திரி பேரண்டம் இருக்கின்றதென்றும் ஏற்கெனவே பார்த்தோம். மில்னின் இரண்டு அமைப்புகளையும், மெர்கேட்டரின் நீட்டத்திற்கும் உலகப் படத்திலுள்ள சம-பரப்பு நீட்டத்திற்கும் ஒப்பிடலாம். புவியின் ஒரு சிறிய பகுதியைப் பொறுத்தவரை இரண்டுவகைச் சித்திரங்களும் ஒரே முடிவைத்தான் கொடுக்கின்றன—அளவு வித்தியாசத்தைத் தவிர. மற்றபடி இதர பகுதிகளுக்குச் சென்றால், முக்கியமாகத் துருவங்களை நோக்கிச் சென்றால், இந்த இரண்டு வரைபடங்களும், மெர்கேட்டரின் வகையில் வரையப்பட்ட படம், மற்றொரு படத்தைவிட அளவில் அதிகமாகக் காணப்படும். ஆகையினால்தான் மெர்கேட்டர் படங்களை 75° அல்லது 80° அட்சரேகைக்கு அப்பால் வரைவதில்லை. இந்தப் படத்தை 90° அட்சரேகை வரையில் வரைந்தால் படம் மிகவும் பெரிதாக இருக்கும். ஆகையினால், இரண்டு படங்களில் ஒன்று மிகப் பெரிதாகவும் மற்றொன்று சிறிதாகவும் (எல்லையுள்ளதாகவும்) இருக்கும். இதுபோல் தான் பேராசிரியர் மில்னின் இரண்டு உருவங்களும் உள்ளன.

[1] பக்கம் 95-ல் கொடுக்கப்பட்ட கீழ்க்குறிப்பில் குறிப்பிடப்பட்ட மூன்றாவது வானவெளி அமைப்பாகும்.

ஆகையினால் புவியின் மேற்புறம் எல்லையுள்ளதென்றும், இரண்டு வரைபடங்களில் ஒன்றுதான் சரியானதாகும் என்று சொல்லவும் நாம் நினைக்கலாம். ஆனால், இப்படிச் சொல்வது, நாம் ஏற்கெனவே ஒரு வகை அளவு முறையைப் பின்பற்ற நினைத்துவிட்டோம் என்றாகும். அதாவது, கெஜக்கோல் அலகின்படி இந்த அளவு புவியில் தூரங்களை அளக்கப் பயன்படலாம்; ஆனால், வானில் இது பயன்படாது. கெஜக் கோலைப் புவியில் எடுத்துச் செல்லமுடியாவிட்டால் தீர்க்கரேகையில் 1 நொடியை நம் அளவு முறையாக வைத்திருப்போம். இதை வான வெளி அளவுகளிலிருந்து நிர்ணயித்துவிடலாம். இந்த அளவு முறை களில் பூமத்தியரேகையிலிருந்து துருவம்வரை உள்ள தூரம் அளவில் அடங்காதது (infinite) என்று சொல்லலாம்.

மில்னின் கோட்பாடுகளும் கருத்துகளும் இன்னும் ஆராயப்படு கின்றன. முடிவாக ஒத்துக்கொள்ளப்படவில்லை. முக்கியமாக 'வானியல் தத்துவத்தில்' இதற்குமேல் அவர் புகுத்தியிருக்கும் எடு கோள்கள் (assumptions) இவ்வகையைச் சார்ந்தவை. மெக்விட்டீ (McVittie) என்பவர், ஒன்பது எடுகோள்கள் கொண்ட ஒரு பட்டியலைக் கொடுத்து இவை தெரிந்தோ, தெரியாமலோ மில்னின் கோட்பாட்டி லிருக்கின்றன என்றும், அவரும், அவரைச் சார்ந்தவர்களும் இவற்றை அடிப்படையென எடுத்துக்கொண்டுவிட்டனர் என்றும் குறிப்பிட் டிருக்கிறார்.

மில்னின் முடிவுகளில் உள்ள மதிப்பு அவர் நினைத்ததற்கு மாறாக உள்ளது. நெபுலாக்கள் விலகிச் செல்வதை எத்தனை விதங்களில் விளக்கலாம் என்றும், எந்த ஒரு விளக்கத்தையும் இதுதான் 'உண்மை யான' விளக்கம் என்று நாம் சொல்லமுடியாது என்பதனையும் மில்னின் முடிவுகள் காண்பிக்கின்றன. குறிப்பாக ஐன்ஸ்டைனின் வளைந்த வானவெளி 'பௌதிக உண்மை'யாக (physical reality) இருக்க முடியாது என்பதை (இந்த வளைந்த வானவெளி யாதாயிருந் தாலும்) காட்டுகின்றது.

பேரண்டத்தின் மாதிரி அமைப்பு

மிக அண்மையில் உள்ள ஒரு விண்மீனின் தூரமாகிய $4\frac{1}{4}$ ஒளி யாண்டுகளைச் சிந்தித்துப் பார்ப்பதே கடினம் என்பதைப் பார்த்தோம். ஆகையினால், பல நூறு மிலியன் ஒளியாண்டுகள் தூரத்திலுள்ள நெபுலாக்களின் தொலைவுகளைப்பற்றிச் சிந்திக்காமலிருப்பதே நலம் என்று நினைக்கலாம். இருந்தாலும், ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு முறையில் வரையப்பட்ட ஒரு மாதிரி அமைப்பிலிருந்து இந்தத் தொலைவுகளைத் தொடர்பு முறையில் (relative distances) ஒருவாறு அறியலாம். இந்த அளவு முறையைச் சிறிதாக வைத்தால், பெரிய தொலைவுகளை நாம் சிந்தித்துப் பார்க்கும் நிலை ஏற்படாது.

புவியானது, ஓர் 'எக்ஸ்பிரஸ்' வண்டியைவிட (express train) 1000 மடங்குகள் அதிக வேகத்துடன் சென்று ஞாயிற்றைச் சுற்றி, ஆண்டுக்கு ஒருமுறை 600 மிலியன் மைல்கள் தூரத்திற்குப் பிரயாணம் செய்கின்றது. இந்தப் பிரயாண அளவை $\frac{1}{16}$ அங்குலம் விட்டமுடைய ஒரு குண்டூசித் தலையாகக் குறிப்பிடுவோம். இதுதான் நம் மாதிரி அமைப்பின் அளவுகோலாகும். அதன்படி, ஞாயிற்றை $\frac{1}{3400}$ அங்குலம் விட்டமுடைய ஒரு தூசாகவும், புவியை இதைவிட மிகவும் சிறிய தாகவும், ஓர் அதிகத் திறன்வாய்ந்த உருப்பெருக்கி (microscope) மூல மாகவும் காணமுடியாத ஒரு புள்ளியாகவும் கருதலாம். இந்த அளவு முறையின்படி, நம் அருகிலுள்ள 'ப்ராக்ஸிமா ஸென்டாரி' என்ற விண் மீன் 225 கெஜ தூரத்தில்தான் இருக்கின்றது. மேலும், ஞாயிற்றின் அருகிலுள்ள நூறு விண்மீன்களைக்கொள்ள வானவெளியின் பரி மாணம் ஒரு மைல் நீளமும், ஒரு மைல் அகலமும், ஒரு மைல் உயரமும் இருக்கவேண்டும்.

நாம் இந்தமாதிரி அமைப்பை அமைத்துக்கொண்டே போவோம். விண்மீன்களைத் தூசிகளாலான கூட்டங்களாகக் கருதலாம். ஏனென்றால், அவைகளுக்குள் உள்ள வித்தியாசம் தூசுகளுக்கிடையில் உள்ள மாதிரி யாகும். ஞாயிற்றினருகில் இந்தத் தூசுகளை ஒன்றிற்கொன்று $\frac{1}{2}$ மைல் தூரத்தில் உள்ளதாகக் கருதவேண்டும். வானவெளியில் இதர பகுதி களில் இவைகளின் தூரம் இன்னும் அதிகமாகும். இந்தமாதிரியான அமைப்பைப் பல திசைகளிலும் நூற்றுக்கணக்கான மைல்கள் தூரத் திற்குக் கட்டிக்கொண்டே போகலாம். அப்பொழுது அண்டத்திலிருந்து விலகிப் போகப்போக இந்தத் தூசுகள் குறைந்துகொண்டேபோகும். அண்டத்தின் எல்லைக்குள்தான் நாம் இருப்பதாக வைக்கவேண்டும். அண்ட மட்டதளத்தில் 5000 மைல்கள் தூரத்திற்கு அண்ட அமைப்பைக் கட்டிக்கொண்டே சென்றால் (உருண்டைக் கொத்துகளிருக்கும்வரை) அப்பொழுதும் அண்டத்தினுள்ளேயே நாம் இருப்பதாக வைக்க வேண்டும். புவியின் பாதைச் சுற்றளவை ஒரு குண்டூசித் தலையாக வைத்தால் அண்டக் குடும்பம் ஆசியக் கண்டத்தைவிட மிகப் பெரியதாக இருக்கும். ஒரு குண்டூசித் தலைக்கும், கண்டத்திற்கும் உள்ள வித்தியாசத்தைப்பற்றி முதலாவதாக நாம் பார்ப்போம்.

அண்டக் குடும்பத்தைக் கற்பனை உருவமாக (model) செய்த பிறகு பேரண்டத்தின் அடுத்த பகுதியைச் செய்வதற்கு நம்முடைய அளவு முறைப்படி இன்னும் 20,000 மைல்கள் நாம் வானவெளியில் கற்பனைரீதியாகப் பயணம் செய்யவேண்டும். இதற்கு அடுத்த விண் மீன் - குடும்பத்தை இப்பொழுது உருவாக்கவேண்டும். இந்தக் குடும்பம் நம் அண்டத்தைவிடச் சிறியதாகிலும், உருவ வகையிலும் எண்ணிக்கையிலும் நம் அண்டத்துடன் ஒப்பிடக்கூடியதாகும். ஆகை

யினால் நாம் 30,000 மைல்களுக்குள்ள தூரத்தை ஒவ்வொரு முறையும் மேலும் மேலும் கடக்கப் பல ஆயிரம் மிலியன்கள் எண்ணிக்கையில் விண்மீன்கள் கிடைக்கும். கடைசியில் இவ்வாறு இரண்டு மிலியன் விண்மீன் குடும்பங்கள் கிடைக்கும். இவ்வாறு நம் மாதிரி உருவம் எல்லாத் திசைகளிலும் மூன்று மிலியன் மைல்கள் தூரத்திற்குப் பரவி விடும். இது நம் தொலைநோக்கியால் வானவெளியைக் காணக்கூடிய அளவாகும். இதற்கும் அப்பால் நம் உருவம் பரவிக்கொண்டே போகும்—ஆனால் முடிவில்லாமலன்று. ஏனென்றால், பல நூறு மிலியன் மைல்கள் சென்ற பிறகு நாம் தொடங்கிய இடத்திற்கே வந்து விடுவோம்.

இந்த உருவத்தில் ஞாயிறு ஒரு தூசாக இருக்கும். இதன் விட்டம் ஓர் அங்குலத்தில் மூன்று ஆயிரத்தில் ஒரு பகுதியாகும். மற்ற விண் மீன்கள் இதைவிடப் பெரியதாகவோ அல்லது சிறியதாகவோ உள்ள தூசுகளாகும். தூசுகளின் மொத்த அளவு, லண்டன் மாநகரத்திலோ (London) அல்லது நியூயார்க்கிலோ உள்ள தூசுகளின் அளவாகும். இது வெளியில் 3 கன மைல்களில் உள்ள தூசு அளவாகும்—ஒரு கன அங்குலத்திற்கு ஒரு மிலியன் தூசுகள் வீதம் ஞாயிற்றை ஒரு பெரிய நகரத்திலுள்ள தூசைக்காட்டிலும் சிறியதாகவும், புவியை இந்தத் தூசில் மிலியனில் ஒரு மடங்காகவும் வைத்தால், வானவெளியில் நம் இருப்பிடத்தின் நிலையைப்பற்றி அறியலாம்.

மற்றொரு முறையில், லண்டன் மாநகரத்திலுள்ள தூசுகள் எல்லா வற்றையும் எடுத்து அவைகளைத் தகுந்த இடைவெளிகளுக்குள் பிரித்து, வானவெளியிலுள்ள விண்மீன்களாக வைக்கலாம். லண்டன் மாநகரத்தி லுள்ள தூசுகளுக்கிடையே உள்ள சராசரி தூரம் ஓர் அங்குலத்தில் சிறிய பின்னமாகும். நம்முடைய மாதிரி உருவத்தைச் சரியான அளவிற்குச் செய்யவேண்டுமானால் மேற்சொன்ன தூரத்தைக் கால் மைல் அதிகரிக்கவேண்டும். ஞாயிற்றைச் சுற்றி மிகவும் நெருக்கமான வானவெளிப் பகுதியை நாம் சித்திரிக்கும்பொழுதுகூட இந்தத் திருத் தம் இன்றியமையாதது. இந்தமாதிரி அமைப்பில் வானவெளியின் பொருளற்ற காலியான இடைவெளி நன்றாகத் தென்படும். வாடர்லூ (Waterloo) ரயில் நிலையத்தில், ஆறு தூசுகளைத் தவிர முற்றிலும் காலியாக இருப்பதாக வைத்தால், இதுகூட, வானத்தில் விண்மீன் களின் அளவைவிட நெருக்கடியானது என்று சொல்லலாம். இஃது அண்டத்திலுள்ள நெருக்கமான பகுதிகளுக்கும் பொருந்தும். ஒரு விண்மீன் குடும்பத்திற்கும், மற்றொன்றிற்கும் உள்ள இடைவெளியைப் பற்றி இஃது ஒன்றும் தெரிவிப்பதில்லை. நம் மாதிரி உருவத்தில் சராசரி யில் ஒரு தூசிற்கும் மற்றொன்றிற்கும் உள்ள தூரம் 80 மைல்களாகும். ஆகையினால், வானவெளி விண்மீன்களால் நிரம்பியது என்று சொல்ல முடியாது. இஃது ஒரு பெரிய சூன்யமாகும் என்றும், பாலைவனத்தைப்

போல் ஒன்றும் காணமுடியாத பகுதிகள் அதிகமாக உள்ள ஓர் அமைப்பு என்றும் சொல்லலாம்.

வானத்தில் நாம் ஞாயிற்றின் அருகில் ஓர் இடத்தில் நின்று கொண்டு ஓர் 'எக்ஸ்பிரஸ்' வண்டியைப்போல் 1000 மடங்கு வேகத்தில் செல்லும் விண்மீன்களைப் பார்த்துக்கொண்டிருப்பதாக வைப்போம். வானவெளி விண்மீன்கள் நிரம்பியதாயின், 'ரீஜன்ட்' (Regent) தெருவின் மத்தியில் உட்கார்ந்துகொண்டு போக்குவரத்து வண்டிகளைப் பார்த்துக்கொண்டிருப்பதுபோலிருக்கும். ஆனால், நாம், போக்குவரத்தைக் கண்டு கொஞ்சம் (சிறிது நேரம்) மகிழ்ச்சி அடைந்தாலும் உடனே உயிரிழக்க நேரும். ஆனால், வானவெளியில் ஒரு விண்மீன் நம்மேல் மோதுவதானால் இதற்குச் சரியான கணக்கீட்டின்படி, ஒரு மிலியன் மிலியன் மிலியன் ஆண்டுகளாகும். இன்னொரு விதத்தில் சொல்லப்போனால் ஒரு விண்மீன் இன்னொரு விண்மீனின்மீது மோதுவதற்கு ஒரு மிலியன் மிலியன் மிலியன் ஆண்டுகள் பிடிக்கும். விண்மீன்கள் வானவெளியில் நினைத்தபடியெல்லாம் (ஒரு குருடனைப்போல்) செல்வதாலும், இவைகளின் எண்ணிக்கைகள் குறைவானதாக இருப்பதாலும் ஒன்றோடு ஒன்று மோதுவதென்பது அரிதாகும். இது மோதலுக்குமட்டுமன்றி, ஒன்றையொன்று நெருங்குவதற்கும் பொருந்தும். இப்பொழுது இருக்கும் நிலையில், ஒரு விண்மீன், மற்றொரு விண்மீனின் விட்டத்தைப்போல் பத்து மடங்கு தூரத்திற்குள் (அண்மையில்) செல்லவேண்டுமானால் இதற்கு நூறு மிலியன் மிலியன் ஆண்டுகளாகும். இந்த நிலை அண்டத்தைப்பற்றி ஆராய எவ்வளவு தேவையானது என்பதைப் பின்பு பார்ப்போம்.

2. அணுவை ஆராய்தல்

இதுவரை நாம் பேரண்டத்தின் ஆராய்ச்சியில் மனிதன் முதற் கொண்டு அவனைவிடப் பெரிய பொருள்கள்வரை ஆராய்ந்துகொண் டிருந்தோம். மனிதனையும் அவன் இருப்பிடமான இந்தப் பரந்த வெளியையும் அர்த்தமற்றதாகச் செய்யும் வானவெளிப் பரப்பை நாம் இதுகாறும் ஆராய்ந்து வந்தோம். இருப்பினும் நாம் இதுவரை பேரண்டத்தின் பரப்பில் ஒரு பாதியையே ஆராய்ந்துவந்திருக்கிறோம். இதைப்போன்றே பரவலான மிகச் சிறிய பொருள்கள்கொண்ட ஒரு பரப்பு நம் ஆராய்ச்சிக்காகக் காத்திருக்கிறது. நமது ஆய்வில் மிகச் சிறிய பொருள்களை எடுத்துக்கொள்ளும்வரை நம்மைச் சுற்றியுள்ள உலகத்தின் அளவற்ற செல்வத்தின் ஒரு பாதியையே நாம் பாராட்டியவர்களாவோம். இந்த ஆய்வே நவீன பௌதிகத்தின் முதல் வேலையாகவும் இப்பொழுது அதன் ஒரு பெரிய சாதனையாகவும் இருக்கிறது.

நவீன வானசாத்திரத்தைப்பற்றி எழுதப்படும் ஒரு புத்தகம் இந்தப் பேரண்டத்தின் மறுமுனையைப்பற்றி ஏன் கூறவேண்டும் என்று கேட்கப்படலாம். விண்மீன்கள் அசையாத பொருண்மைகள் (masses) மட்டுமல்ல என்பதே இதன் பதிலாகும். கதிர்வீச்சை உற்பத்தி செய்து வெளிவிட்டு நாம் அவைகளை காணுவதற்கு உதவி புரியும் பணி யில் ஈடுபட்டுள்ள இயந்திரங்களாகவே அவை விளங்குகின்றன. அவை கதிர்வீச்சை உற்பத்திசெய்து பூமியில் வெளிவிடும் முறைகளைப் படிப்பதன்மூலம் அவைகளின் அமைப்பு முறையை நாம் நன்குகத் தெரிந்துகொள்ளலாம். இது நம்மை உடனே நவீனகால அணு வியலுக்கே கொண்டு செல்கிறது. உண்மையிலேயே இந்தப் புத்தகத் தில் இப் புதிய துறையை முழுவதுமாகக் கூறுதல் இயலாது. வான ஆராய்ச்சியின் முடிவுகளை விளக்கக்கூடிய முக்கியமான சில பகுதிகளை மட்டுமே நாம் ஆராய்வோம்.

அணுவின் தத்துவம்

இயேசுவுக்கு ஐந்து நூற்றுண்டுகள் முன்பாகவே கிரேக்க தத்துவ நூல் உலகத்திலுள்ள பொருளின் முடிவான உருவம் தொடர்ச்சியானதா அல்லது தொடர்ச்சியற்றதா என்ற கேள்வியைத் தீவிரமாக ஆராய்ந்து கொண்டிருந்தது. நாம் கடற்கரையில் நின்று பார்க்கும்போது நம்மைச் சுற்றியுள்ள மணற்பரப்புகள் எல்லாம் அமைப்பில் தொடர்ச்சியாகத் தோற்றமளிக்கின்றன. ஆனால், அருகில் சென்று சோதனை செய்தால் அந்த மணற்பரப்புகள் தனித்தனியான கடினமான துண்டுகள் அல்லது விதைகள்போன்ற மணல் தூள்களால் ஆனவை என்று தெரிகிறது. நம் முன்னால் உருண்டோடும் கடல் முதலில் அமைப்பில் தொடர்ச்சியாகத் தோன்றினாலும் எவ்விதமாக முயற்சி செய்தாலும் நாம் அதைத் துண்டுகளாகவும் தூள்களாகவும் பிரிக்கமுடியாது. நாம் அதை நீர்த்துளிகளாகப் பிரிக்கலாம். ஆனால், அந்த ஒவ்வொரு துளி நீரையும் மேலும் சிறிய துளிகளாகப் பிரிக்கலாம். இவ்வாறு பிரித்துக் கொண்டே போதல் அசாத்தியம் என்று தோன்றுவதற்குக் காரணங்கள் ஒன்றும் தெரியவில்லை. பேரண்டத்திலுள்ள பொருளின் கடைசி அமைப்பின் உண்மையான தோற்றத்தைக் கடலில் தண்ணீராவது அல்லது கடற்கரையின் மணலாவது கொடுத்ததா என்ற கேள்வி கிரேக்க தத்துவ ஞானிகளைக் கலக்கமுறச் செய்தது.

டெமாக்ரிடஸ், லியூசிப்பஸ் மற்றும் லக்ரிடியஸ் ஆகியவர்களால் நிறுவப்பட்ட அணு ஆராய்ச்சிப் பள்ளிக்கூடம், பொருளின் முடிவான அமைப்பு தொடர்ச்சியற்றது என்றே நம்பியது. அவர்கள், எந்த ஒரு பொருளும் போதுமான தடவைகள் பிரிக்கப்பட்டவுடன் கடினமான தனித்தன்மை உடைய தூள்களாக ஆகிவிடுகிறது என்றும் அவைகளை மேலும் 'பிரிக்கமுடியாது' என்றும் நினைத்தார்கள். தண்ணீரைவிட மணலே அவர்களுக்கு நன்றாகப் பொருளின் கடைசி அமைப்பின் தோற்றத்தை அளித்தது. ஏனென்றால், போதுமான அளவு பிரித்தல் முறையால் நீர், மணலின் அமைப்பு முறையையே காண்பிக்கும் என்று அவர்கள் நினைத்தார்கள். இந்த உள்ளுணர்வால் ஏற்பட்ட யூகத்தை நவீன விஞ்ஞானம் உறுதிப்படுத்துகிறது.

ஒரு பொருளின் மெல்லிய அடுக்கின் குணங்கள் அதைவிடச் சற்று பருமனான அடுக்கின் (layer) குணங்களைவிட முக்கியமாக மாறுபட்டிருந்தால் இந்தக் கேள்வியின் விடை உடனே தெரிந்துவிடும். சிவப்பு நிறமுள்ள தரையின் மேலே ஒரு தானிய பருமன்வரை மஞ்சள் நிறமான மணல்கொண்டு சீராகப் பரப்பிவைத்தால் முழுத்தரையும் மஞ்சள் நிறமாகக் காணப்படும். ஆனால், அம்மாதிரிச் செய்யத் தேவையான அளவு மணலில் பாதிதான் இருக்குமானால் தரையின் சிவப்பு

நிறம் மணலைப் பரப்பிய பிறகும் நமக்குத் தெரிகிறது. அந்த மணலைக் கொண்டு அரை தானியம் பருமன் உள்ளதாக நாம் தரையில் சீராகப் பரப்ப முடியாது. மணல் அடுக்கின் இந்தத் திடீர் குணமாற்றம் மணலின் விதைபோன்ற அமைப்பு முறையின் பலனேயாகும்.

இதைப்போன்ற குணமாற்றம் திரவப்பொருள்களின் அடுக்குகளிலும் காணப்படுகிறது. ஒரு தேக்கரண்டி குழம்பு, குழம்புத்தட்டின் அடிப்பாகத்தை நன்கு பரப்பி மூடிக்கொள்ளும். ஆனால், குழம்பின் ஒரு தனித்துளி ஒழுங்கில்லாமல் சிதறித்தான் குழம்புத் தட்டில் விழும். சில நிகழ்ச்சிகளில் திரவப்பொருள்கள் மாற ஆரம்பிக்கும் அடுக்கின் சரியான பருமனை அளக்க முடிகிறது. 1890-ல் பிரபு ராலே (Rayleigh) என்பவர் தண்ணீர்மேல் மிதக்கும் ஆலிவ் எண்ணெயில் மிகச் சிறிய அடுக்குகளின் பருமன் ஒரு மில்லி மீட்டரில் மில்லியனில் ஒரு பங்காகக் (ஓர் அங்குலத்தில் 25,000,000-ல் ஒரு பங்கு) குறைக்கப்பட்டவுடன் தங்கள் குணத்தை மாற்றுவதாகக் கண்டார். இதிலிருந்து வெளியாகிற, பலவிதங்களில் உறுதிப்படுத்தப்பட்ட முடிவிலிருந்து ஆலிவ் எண்ணெய், மணற்துவியலில் உள்ள விதைகள் போன்றே அமைப்புள்ளதும், தனித்தன்மை வாய்ந்ததும், கிட்டத்தட்ட ஓர் அங்குலத்தில் 25,000,000-ல் ஒரு பாகம் விட்டமுள்ளதுமான தூள்களால் ஆனது என்று தெரிகிறது.

ஒவ்வொரு பொருளும் இதைப்போலவே சிறிய துகள்களை உடையதாய் இருக்கிறது. அவைகளுக்கு மாலிகியூல்கள் என்று பெயர். பல மாலிகியூல்கள் கனமுள்ள அடுக்கின் குணங்களே பொருளின் பொதுவாகத் தெரிந்த குணங்களாகும். ஒரு தனி மாலிகியூல் பருமனுக்கும் குறைந்த அடுக்கின் குணங்கள், ஆராய்ச்சிசாலையில் உள்ள பௌதிக ஆராய்ச்சியாளனுக்குமட்டுமே தெரியும்.

மாலிகியூல்கள்

பொருளின் ஒரு துண்டை எப்படி மிகச்சிறிய தூள்களாக அல்லது மாலிகியூல்களாகப் பிரிக்கமுடியும்? தண்ணீரை வெகு நேரம் பிரித்துக் கொண்டே இருந்தால் மீண்டும் பிரிக்கமுடியாத அளவுள்ள சிறு துகள்களை அடையலாம் என்று விஞ்ஞானி சுலபமாகச் சொல்லிவிடலாம். ஆனால், சாதாரண மனிதனும் அதேபோல் செய்துபார்க்க விரும்புகிறான்.

அதிர்ஷ்டவசமாக இந்தமாதிரி பிரிக்கும் முறை மிகவும் சுலபமானதாக இருக்கிறது. ஒரு தம்ளர் தண்ணீர் எடுத்துக்கொண்டு அடியில் மெதுவாகச் சூடேற்றுங்கள். தண்ணீர் மெதுவாக ஆவியாக மாறுகிறது. இதற்கு அர்த்தமென்ன? தண்ணீர் மிகச்சிறிய துகள்களாக அல்லது மாலிகியூல்களாகப் பிரிகின்றது என்பதே இதன் அர்த்தமாகும்.

போதுமான நுட்பமுள்ள சுருள்வில் தராசில் (spring balance) அந்தத் தம்ளரைத் தண்ணீருடன் வைத்துப் பார்த்தால் தண்ணீர் ஆவியாகும் முறை அடுக்குக்குப்பின் அடுக்காக (layer by layer) தொடர்ச்சியாக நடைபெறவில்லை என்றும் ஆனால் அதிர்ச்சியுடன் மாலிகியூலுக்குப்பின் மாலிகியூலாக நடைபெறுகிறது என்றும் தெரிகிறது. தண்ணீரின் எடை ஒவ்வொரு துள்ளலுக்கும் மாறுபடுவதையும் ஒவ்வொரு துள்ளலும் ஒரு தனி மாலிகியூலின் எடையைக் குறிப்பிடுவதையும் காண்கிறோம். தம்ளரில் உள்ள நீரில் உள்ள மாலிகியூல்கள் முழு எண்களில்தான் இருக்கும்; பின்னமான (fraction) எண்ணிக்கையில் இருக்காது. அப்படிப் பின்னமான எண்ணிக்கையில் இருக்குமானால் அவை தண்ணீர் ஆவியாகும்போது மாற்றத்தில் ஈடுபடாது இருக்கும்.

வாயு நிலை (The Gaseous state)

தண்ணீர் ஆவியாகும்போது அதன் மேற்பரப்பிலிருந்து வெளிப்படும் மாலிகியூல்கள் வாயுவாக மாறுகின்றன. இது தண்ணீர்-ஆவி அல்லது நீராவி எனப்படும். ஒரு வாயுவில் ஏராளமான ஒன்றை ஒன்று சார்ந்திராமல் சுதந்திரமாகப் பறந்து திரியும் மாலிகியூல்கள் அடங்கியிருக்கின்றன. ஆனால், சில அரிதான சமயங்களில் இரண்டு மாலிகியூல்கள் மோதிக்கொண்டு, ஒன்று இன்னொன்றின் அசைவில் (motion) குறிக்கிடுவதுண்டு. இயற்கையாகவே மாலிகியூல்களின் ஒன்றோடொன்று குறுக்கிடும் அளவானது அவைகளின் உருவத்தைப் பொறுத்திருக்கவேண்டும். எனவே, அவைகள் பெரிதாக இருந்தால் மோதல் அடிக்கடி நடைபெறுவதோடு அவை ஒன்று இன்னொன்றின் அசைவில் அதிகமாகக் குறுக்கிடும். உண்மையிலேயே மாலிகியூல்களின் குறுக்கீட்டின் அளவே அவைகளின் உருவத்தை நிர்ணயிக்கும் மிகச் சிறந்த சாதனமாக விளங்குகின்றது. எப்பொழுதுமே அநேகமாக ஓர் அங்குலத்தின் நூறு–பத்து லட்சத்தில் ஒரு பங்கு விட்டமுள்ள அவை மிகமிகச் சிறியதாக இருக்கின்றன. மற்றும் பொதுவான விதிப்படி நாம் எதிர்பார்க்கும்படியாகவே, சாதாரண மாலிகியூல்கள் சிறிய விட்டமுடையனவாக இருக்கின்றன. தண்ணீரின் மாலிகியூல் ஓர் அங்குலத்தின் 1·8 நூறு–பத்து லட்சத்தில் ஒரு பங்கு ($4{\cdot}6\times10^{-8}$ செ.மீ.) விட்டமுள்ளதாகவும், சாதாரண ஹைட்ரஜன் மாலிகியூல் ஓர் அங்குலத்தின் நூறு-பத்து லட்சத்தில் ஒரு பங்கைவிடச் சற்று ($2{\cdot}7\times10^{-8}$ செ.மீ.) அதிகமான விட்டமுடையதாகவும் இருக்கின்றன. பலதரப்பட்ட ஏராளமான ஆய்வுகள் (investigations) மேற்சொன்ன மாலிகியூல்களுக்கு இதே விட்டங்களை நிர்ணயிக்கின்றன என்ற உண்மையே இவைகளின் இருத்தல் உண்மையானது என்பதை நிரூபிக்கிறது.

மாலிகியூல்கள் மிகமிகச் சிறியதாக இருப்பதனால் அவைகளின் எண்ணிக்கை கணக்கிலடங்காமல் இருக்கவேண்டும். ஒரு பின்ட்

(pint) அளவு தண்ணீரில் ஒவ்வொன்றும் $1 \cdot 06 \times 10^{-24}$ அவுன்ஸ் எடையுள்ள $1 \cdot 89 \times 10^{25}$ மாலிகியூல்கள் இருக்கின்றன. இந்த மாலிகியூல்களை ஒன்று மற்றொன்றின் பக்கத்தில் இருக்கும்படி வைத்து ஒரு சங்கிலி செய்தால் பூமி அதைக்கொண்டு தன்னை 200 மிலியன் தடவைச் சுற்றிக்கொள்ளலாம். அவைகளைப் பூமியின் மேற்பரப்பு முழுவதும் கிட்டத்தட்ட ஒரு சதுர அங்குல நிலத்திற்கு 100 மில்லியன் மாலிகியூல்கள் வீதம் சிதறச் செய்யலாம். மாலிகியூல்களை மிகச் சிறிய விதைகளாக நாம் நினைத்தோமானால் இந்த முழு பூமியிலும் சதுர அங்குலத்திற்கு 100 மிலியன் மாலிகியூல்கள் வீதம் தெளிக்கத் தேவையான விதையை ஒரு பின்ட் பானையில் வைத்துவிடலாம். இந்த மாலிகியூல்கள் மிக அதிகமான வேகத்தோடு நகருகின்றன. சாதாரண அறையில் இருக்கும் காற்றிலுள்ள மாலிகியூல்களின் சராசரி வேகம் செகண்டிற்கு 500 கஜங்களாகும். இது கிட்டத்தட்ட ஒரு துப்பாக்கி குண்டின் வேகத்திற்குச் சமமானதும் ஒலியின் சாதாரண வேகத்தைக்காட்டிலும் சற்று அதிகமானதும் ஆகும். இரண்டாவதாகச் சொல்லப்பட்ட வேகத்தைப்பற்றி நாம் தினசரி அனுபவத்தால் அறிந்துள்ளதால் வாயுவில் மாலிகியூல்களின் வேகத்தைப்பற்றி எண்ணமிடுதல் நமக்குச் சுலபமானது. மாலிகியூல்களின் வேகம் ஒலியின் வேகத்தோடு ஒப்பிடக்கூடியது என்பது ஓர் எதிர்பாராத செய்தி மட்டுமன்று. எப்படிச் செய்தித் தூதுவர்கள் செய்தியைத் தங்களிடமிருந்து அடுத்தவர்களுக்குக் கொண்டு செல்கிறார்களோ, அல்லது எப்படி கிரேக்க தீவட்டிக்காரர்கள் தங்களிடமிருந்து தீவட்டியை அடுத்தவருக்கு நீட்டுகிறார்களோ அதேபோல் ஒலியின் தாக்குதலை மாலிகியூல்கள் தங்களிடமிருந்து மற்றவைகளுக்குக் கடத்துகின்றன. மோதல்களுக்கு இடையே மாலிகியூல்கள் பிரயாணம் செய்யும் அதே வேகத்திலேயே செய்தி (ஒலி) முன்னால் எடுத்துச் செல்லப்படுகிறது. இப்படி இவைகளெல்லாம் ஒரே திசையில் சரியாக இம்மாதிரி வேகத்தோடு பிரயாணம் செய்யுமேயானால் ஒலியும் இந்த மாலிகியூல்களின் வேகத்திலேயே பிரயாணம் செய்யும். ஆனால், இவைகளில் பல மாலிகியூல்கள் சாய்ந்த பாதைகளில் பிரயாணம் செய்கின்றன. அதனால் காற்றில் இருக்கும் தனித்தனியான மாலிகியூல்களின் சராசரி வேகம் செகண்டிற்கு 500 கஜங்களாக இருந்தபோதிலும், மொத்தத்தில் ஒலியின் முன்னோக்கிச் செல்லும் வேகம் செகண்டிற்கு 370 கஜங்களேயாகும்.

உயர்ந்த உஷ்ணநிலையில் மாலிகியூல்கள் இன்னும் அதிக வேகத்தை அடையலாம். வெந்நீர் உலையில் உள்ள நீராவியின் மாலிகியூல்கள் செகண்டிற்கு 1000 கஜங்கள் வேகத்தோடு நகரும்.

வாயு அதிக அழுத்தத்தை உண்டாக்குவதற்கு அதில் உள்ள மாலிகியூல்கள் அதிவேகமாக நகருவதே காரணமாகும். சாதாரண காற்

ரேடு நெருங்கியிருக்கும் எந்த ஒரு பரப்பும் துப்பாக்கி குண்டின் வேகத்தில் செல்லும் கணக்கற்ற மாலிகியூல்களினுல் தாக்கப்படுகிறது. நமது ஒவ்வொரு மூச்சோடும் மிலியன் மிலியன் மிலியன் மாலிகியூல்களின் கூட்டங்கள் ஒவ்வொன்றும் விநாடிக்கு 500 கஜங்கள் வேகத்துடன் நமது உடலுள் செல்கின்றன என்ருலும் நமது நுரையீரல்களின் சுவர்கள் அவைகளின் இடைவிடாத தாக்குதலால் தகர்ந்து விடுவதில்லை. மற்ரேர் உதாரணம் நீராவி இயந்திரத்தின் உருளையிலுள்ள (cylinder) பிஸ்டனை ஒவ்வொரு விநாடிக்கும் 800 கஜங்கள் வேகத்தோடு செல்லும் 14×10^{28} மாலிகியூல்கள் மோதுகின்றன. இந்த எண்ணிலடங்காத சிறு குண்டுகளால் இடைவிடாமல் தாக்கப்படும் பிஸ்டன் உருளையின் முன்னுல் நகர்ந்து வண்டியைச் செலுத்துகிறது.

எல்லாத் திசைகளிலும் பகுத்தறியாமல் அங்குமிங்கும் பறந்துகொண்டிருக்கும் மற்றும் ஒன்ரேடொன்று அடிக்கடி மோதிக்கொள்ளும் தொடர்ச்சியான துப்பாக்கி குண்டுகளைப்பற்றி நாம் நினைத்துப் பார்த்தோமானுல் நமது மனத்தில் வாயுவைப்பற்றிய ஒரு சிறந்த தோற்றத்தை ஏற்படுத்தலாம். சாதாரணக் காற்றிலுள்ள ஒவ்வொரு மாலிகியூலும் ஒன்ரேடொன்று விநாடிக்கு ஏறக்குறைய 3000 மிலியன் தடவைகள் மோதிக்கொள்கின்றன. அவை இரு அடுத்தடுத்த மோதல்களில் கிட்டத்தட்ட $\frac{1}{160,000}$ அங்குல தூரம் பிரயாணம் செய்கின்றன. நாம் வாயுவை அழுத்தி அதிக அடர்த்தி (density) உள்ளதாகச் செய்தால் ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் அதிக மாலிகியூல்கள் நெருக்கமாக நிரம்பிவிடுகின்றன. அதனுல் மோதல்கள் மிகவும் அடிக்கடி நடைபெறுவதோடு மாலிகியூல்கள் மோதல்களுக்கிடையே குறைவான தூரமே பிரயாணம் செய்கின்றன. ஆனுல், இதற்கு மாருக வாயுவின் அழுத்தத்தைக் குறைத்து அதன் அடர்த்தியைக் குறைவாக்கினுல் மோதல்கள் மிகவும் அடிக்கடி நடைபெறுவது சற்றுக் குறைவதோடு அவை மோதல்களுக்கு இடையே நகரும் தூரமானது—இதை சுயேச்சைப் பாதை என்பதுண்டு—அதிகமாகிறது. ஆராய்ச்சிசாலையில் இப்பொழுது ஏற்படுத்தக்கூடிய மிகக் குறைந்த வெற்றிடத்தில் (vacuum) ஒவ்வொரு கன அங்குலத்திற்கும் 600,000 மிலியன் மாலிகியூல்கள் இருந்தபோதிலும் ஒரு மாலிகியூல் இன்னென்ரேடு மோதாமல் 100 கஜங்கள் பிரயாணம் செய்யமுடியும்.

வானசாத்திர நிபந்தனைகள்மூலம் இன்னும் குறைந்த வெற்றிடத்தை உண்டாக்கலாம். சில நெபுலாக்களில் ஒரு குறிப்பிட்ட கன அளவு இடத்திற்கு மிகமிகக் குறைந்த மாலிகியூல்கள் இருப்பதனுல் மோதலே இல்லாமல் ஒரு வாயுவின் மாலிகியூல்கள் மிலியன் மைல்கள் கூடப் பிரயாணம் செய்யலாம்.

பறந்துகொண்டிருக்கும் இம்மாதிரியான மாலிகியூல்கள் மோதிக் கொள்வதன்மூலம் அசைவற்று நின்றுவிடும் என்று நினைக்கலாம். துப்பாக்கி குண்டுகள் சந்தேகமில்லாமல் நின்றுவிடத்தான் செய்யும். ஆனால், மாலிகியூல் குண்டுகள் அம்மாதிரி நின்றுவிடாமல் இருப்பதற்குக் கீழே விளக்கம் கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது.

சக்தி (Energy)

ஒரு துப்பாக்கி குண்டைச் சுடுவதற்கு வேண்டிய வெடிமருந்தின் அளவு அந்தக் குண்டிற்குக் கொடுக்கப்படும் இயக்க சக்தியை (energy of motion) அளக்க உதவுகிறது. அதேவேகத்தில் இருமடங்கு எடையுள்ள குண்டைச் சுடுவதற்கு இருமடங்கு வெடிமருந்து தேவைப் படுகிறது. ஏனென்றால், குண்டு அல்லது எந்த ஓர் இயங்கும் பொருளின் இயக்க சக்தி அதன் எடையின் விகிதத்தில் இருக்கிறது. ஆனால், அந்தக் குண்டையே இருமடங்கு வேகத்தோடு சுட இருமடங்கு வெடிமருந்துமட்டும் இருந்தால் போதாது; ஒரு நகரும் பொருளின் நகரும் சக்தி அதன் வேகத்தின் இரு வர்க்கத்தின் (square) விகிதத்தில் இருப்பதால் நான்கு மடங்கு வெடிமருந்து தேவைப்படுகிறது. அனுபவசாலியான மோட்டார் ஓட்டி இதை நன்றாக அறிவான். 20 மைல் வேகத்தில் கார் போகும்போது, 20 அடி தூரத்தில் அதை பிரேக்குகள் கொண்டுபோய் நிறுத்தினால் 40 மைல் வேகத்தில் போகும் போது காரை பிரேக்குகள் உதவிகொண்டு 40 அடி தூரத்தில் நிறுத்த முடியாது. அதற்கு 80 அடி தூரம் வேண்டும். இருமடங்கு வேகத்திற்கு நான்கு மடங்கு தூரம் வேண்டியிருக்கிறது. ஏனென்றால், இரு மடங்கு வேகம் என்பது நான்கு மடங்கு இயக்க சக்தியைக் குறிக்கிறது. பொதுவாக, எந்த ஒரு பொருளின் இயக்க சக்தியும் பொருளின் எடை விகிதத்திலும், வேகத்தின் வர்க்கத்தின் விகிதத்திலும் உள்ளது.[1]

சக்தி சேமிப்பு (conservation of energy) என்ற கொள்கையை நிரூபித்தலே 19ஆம் நூற்றாண்டின் பௌதிகத்தின் ஒப்பற்ற சாதனை யாகும். சக்தி பல உருவில் இருக்கலாம்; ஓர் உருவிலிருந்து

[1] இதை, v வேகத்தில் நகரும் m எடைகொண்ட ஒரு பொருளின் நகரும் சக்தி $\frac{1}{2}mv^2$ என்ற கணித சூத்திரத்தால் அறியலாம். m என்பதை கிராம்களிலும் v என்பதை வினாடிக்கு இத்தனை செ.மீ. என்பதிலும் எடுத்துக்கொண்டால் அந்தப் பொருளின் இயக்க சக்தி $\frac{1}{2}mv^2$ எர்க்குகள் (ergs) ஆகும். எனவே, ஓர் எர்க் என்பது வினாடிக்கு ஒரு செ.மீ. வீதம் செல்லும் இரு கிராம் எடையுள்ள ($\frac{1}{2}m=1$ என்று தெரிவதற்காக) ஒரு பொருளின் இயக்க சக்தியாகும். உதாரணமாக, மணிக்கு 60 மைல் வேகத்தில் (வினாடிக்கு 2682 செ.மீ.) செல்லும் 300 டன்கள் (3×10^8 கிராம்கள்) எடையுள்ள ஒரு துரித ரயில் வண்டியின் சக்தி 1079×10^{14} எர்க்குகளாகும். ஒரு டன் எடையுள்ளதும் வினாடிக்கு 1520 அடி வேகத்தில் நகரும் பீரங்கி குண்டு அல்லது சாதாரண குண்டு ஏறத்தாழ இதே சக்தியை உடையதாய் இருக்கிறது.

மற்றொன்றிற்கு முடிவில்லாமல் மாறிக்கொண்டேயிருக்கலாம். ஆனால், அதை முழுவதுமாக அழித்துவிட முடியாது. நகர்ந்துகொண்டிருக்கும் பொருளை அசைவற்ற நிலைக்குக் கொண்டுவருவதனால் சக்தி வீணாகிவிடாது. அது மற்றோர் உருவை எடுத்துக்கொள்கிறது. ஒரு துப்பாக்கி குண்டு அதன் இலக்கைத் தாக்கிவிட்டு நின்றுவிட்ட பிறகு அதன் இயக்கசக்தியின் ஒரு பகுதி இலக்கை (target) சூடேற்றவும், மற்றப் பகுதி குண்டைச் சூடேற்ற அல்லது உருக்கச் செலவழிக்கப்படுகிறது. இது வெப்பத்தின் மற்றொரு வடிவேயாகும். குண்டு புறப்பட்டுச் செல்லும்போது இருந்த சக்தியே இப்பொழுதும் இருக்கிறது.

இந்தக் கொள்கையின்படி சக்தியை எந்த விதத்திலும் புதிதாக உண்டாக்கமுடியாது. இப்பொழுது இருக்கும் உருவத்திலிருந்து முற்றிலும் மாறுபட்ட உருவில் இருந்திருக்கலாமென்றாலும், இப்பொழுது இருக்கும் சக்தியெல்லாம் எல்லாச் சமயங்களிலுமே இருந்திருக்கவேண்டும். உதாரணமாக, வெடிமருந்தில் இரசாயன சக்தி என்ற உருவில் ஏராளமான சக்தி தேக்கி வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஆனால், இந்தத் தேக்கி வைக்கப்பட்டுள்ள சக்தியானது திடீரென வெடித்து வெளிப்பட்டு நாசம் செய்யாமலும், தான் வைக்கப்பட்டுள்ள பாத்திரத்தை உடைத்துக்கொண்டு வெளியேறாமலும், மற்றப் பொருள்களைக் காற்றில் தூக்கி வீசாமலும் இருக்கும்படி பத்திரமாகப் பாதுகாப்பில் வைக்கப்படவேண்டும். ஓர் அளவுள்ள வெடிமருந்தில் இருக்கும் சக்தியை வெளிப்படுத்துவதற்கும், அந்தச் சக்தியைக் குண்டின் 'இயக்க சக்தியாக மாற்றித் தரவுமே துப்பாக்கி ஒரு சாதனமாக விளங்குகிறது. இலக்கை நோக்கிக் குண்டு சுடப்படும்போது குறிப்பிட்ட அளவு சக்தியானது (இஃது எவ்வளவு வெடிமருந்து உபயோகிக்கப்பட்டது என்பதைப்பொறுத்தது) வெடிமருந்தில் இருக்கும் இரசாயன சக்தியிலிருந்து முதலில் குண்டின் இயக்க சக்தியாகவும் [துப்பாக்கியின் ஆட்டதிற்குக் (அசைவிற்கு) கொஞ்சம் சக்தியாகவும்] கடைசியாக குண்டிலும் இலக்கிலும் தங்கும் வெப்ப சக்தியாகவும் மாற்றப்படுகிறது. மிகவேகமாகத் தொடர்ச்சியாகச் சக்தி இந்த மூன்றுவித உருவை எடுத்துக்கொள்கிறது. பேரண்டத்தில் இருக்கும் வாழ்வு எல்லாமே இந்தச் சக்தியின் பலவித உருவங்கள் என்று சொல்லலாம். பேரண்டத்தில் ஏற்படும் மாற்றமெல்லாம், ஓர் உருவிலிருந்து மறு உருவிற்கு மாறி, தன் மொத்த அளவை எப்பொழுதும் ஒரே நிலையில் வைத்திருக்கும் சக்தியின் மாற்றமே என்று சொல்லலாம். இதுவே சேமிப்புச் சக்தி என்னும் விதியாகும்.

சார்ஜ் செய்யப்பட்ட மின்சேமக்கலம் (accumulator) அல்லது இடிமின்னலுடன் கூடிய மேகத்தில் காணப்படும் மின்சார சக்தி, சுற்றி வைக்கப்பட்டுள்ள கைக்கடிகார சுருள்வில் அல்லது உயரத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள பளுவான கடிகாரத்தில் காணப்படும் இயந்திர சக்தி

(mechanical energy), கரி, மரம், மற்றும் எணணெயில் அல்லது வெடியுப்பில் காணப்படும் இரசாயன சக்தி, துப்பாக்கி குண்டில் காணப் படும் இயக்க சக்தி (energy of motion), மற்றும் கடைசியாகத் துப்பாக்கி குண்டின் அசைவைத் தடுத்து அதன் இயக்க சக்தியைக் குறைக்கும்போது ஏற்படும் வெப்பத்தினால் உண்டாகும் வெப்ப சக்தி முதலியவை சாதாரணமாகக் காணப்படும் சக்திகளில் சிலவாகும்.

வெப்பம்

வெப்பத்தை ஒரு சக்தியின் உருவமாக இன்னும் சற்று விரிவாக நோக்குவோம். நாம் அறையைக் கதகதப்பாக்க விரும் பினால் நெருப்பைப் பற்றவைத்து கட்டை அல்லது நிலக்கரியில் உள்ள இரசாயன சக்தியை வெளியேற்றுகிறோம். அல்லது மின்சார அடுப்பை வேலை செய்ய வைத்து வெகு தூரத்தில் இருக்கும் சக்தியை உண்டாக் கும் நிலையத்தில் எரியும் நிலக்கரியிலிருந்து வெளியாகும் சக்தியை மின்சாரம் நமக்கு அளிக்கும்படியாகச் செய்கிறோம். ஆனால், கடைசி யாக வெப்பம் என்பது என்ன? ‘அது சக்தி’ என்ற உருவத்தை எப்படி அடைகிறது?

திட, திரவ அல்லது வாயுவில் ஏற்படும் வெப்பமானது, தனித்தனி யான மாலிகியூல்களின் இயக்க சக்தியேயாகும். அறையில் உள்ள காற்றை உஷ்ணப்படுத்தும்போது அதன் மாலிகியூல்களின் வேகத்தை நாம் அதிகப்படுத்துகிறோம். பொருளின் வெப்ப சக்தியானது அதில் இருக்கும் எல்லா மாலிகியூல்களின் மொத்த சக்தியேயாகும். சைக்கிள் சக்கரத்திற்குக் காற்றடிக்கும்போது, பம்பின் பிஸ்டனால் அதன் உள்ளே யிருக்கும் காற்றிலுள்ள எண்ணற்ற மிலியன் மாலிகியூல்களை எதிர்ப் புறமாக அழுத்துகிறோம். எதிர்த்து நிற்கும் மாலிகியூல்களை அழுத்தித் தள்ளுவதன்மூலம் பிஸ்டன் அவைகளின் நகரும் வேகத்தை அதிகப் படுத்துகிறது. இதனால் ஏற்படும் மாலிகியூல்களின் அதிகப்படியான இயக்க சக்தி என்பது அதிகரித்த வெப்பமேயாகும். ஓர் உஷ்ண மானியைப் பம்பினுள் நுழைப்பதன்மூலம் இதை அறியலாம். அல்லது இன்னும் சுலபமாக நம் கையைப் பம்பின்மேல் வைத்துப்பார்த்து அது சூடாயிருப்பதைக் கண்டு தெரிந்துகொள்ளலாம்.

மாலிகியூல்களின் மோதல்கள் (Molecular Collisions)

(109)ஆம் பக்கத்தில் சொல்லப்பட்ட கணக்கை எடுத்துக்கொண்டு, இரண்டு மாலிகியூல் குண்டுகள், வாயுவில் மோதிக்கொள்ளும்போது என்ன நேரிடுகிறது என்பதைச் சோதிப்போம். சண்டைக் களத்திலே மோதிக்கொள்ளும் இரு ஈயத் துப்பாக்கி ரவைகள் அநேகமாகத் தங்கள் முழு இயக்க சக்தியையும் வெப்ப சக்தியாக மாற்றிக்கொள்ளக்கூடும். அவைகள் சில சமயம் சூடாகி உருகிக்கூடப்போகலாம். ஆனால்,

வாயுவில் உள்ள மாலிகியூல் குண்டுகள் தங்களுடைய இயக்க சக்தியை வெப்ப சக்தியாக எப்படி மாற்றிக்கொள்ள முடியும்? அவைகளுக்கு, வெப்பமும், நகரும் சக்தியும் இரு மாறுபட்ட உருவமுள்ள சக்திகள் அல்ல, இரண்டும் ஒன்றேதான். அவைகளின் வெப்பசக்தியே அவைகளின் நகரும் சக்தியாகும். மொத்த சக்தி குறையாமல் அப்படியே இருக்கவேண்டும். மற்றும் அவைகள் எடுத்துக்கொள்ளக்கூடிய புதிய உருவம் ஏதுமில்லை. எனவே, இரு மாலிகியூல். குண்டுகள் மோதிக் கொள்ளும்போது தங்கள் இயக்க சக்தியில் கொஞ்சம் பாகத்தை மாற்றிக்கொள்ளுதலே நடக்கக்கூடியதாகும். மோதலுக்கு முன்பாக அவைகளின் இயக்க சக்தி 7-ம், 5-ம் இருந்தால் மோதலுக்குப் பிறகு அவை 6-ம் 6-ம், அல்லது 8-ம் 4-ம் அல்லது 7-ம் 5-மாக அல்லது மொத்தத்தொகை 12 வரக்கூடிய எந்த ஒரு சேர்க்கையும் இருக்கலாம்.

ஒவ்வொரு மோதலின்போதும் இஃது ஒரேமாதிரிதான் இருக்கும். சக்தி வீணாகப்போவதோ அல்லது மாறிவிடுவதோ என்றுமில்லை. அதனால்தான் மாலிகியூல்களின் போர்க்களத்திலே குண்டுகள் ஒன்றை ஒன்று ஆனந்தமாக இடித்துக்கொண்டும் ஒன்றுக்கொன்று மோதலின் போது தீங்கை விளைவிக்காமலும் சதா பறந்துகொண்டேயிருக்கின்றன. அவைகளின் நகரும் சக்தியானது அவைகள் வசமாக (lucky) அல்லது அதற்கு மாறாக மோதுவதன்மூலம், அதிகரித்தும் குறைந்தும், குறைந்தும் அதிகரித்தும் மாறி நிற்கின்றன. அவைகள், மாறுபாட்டைக் கண்டு (fluctuations) கவலைப்படவேண்டுமே தவிர மொத்த சக்தியைப்பற்றிக் கவலைப்படத் தேவையில்லை. மொத்த சக்தி எப்பொழுதும் அப்படியே இருக்கிறது. மேலும், அவைகளின் அசைவு நிரந்தரமானது.

சக்தியின் சமக்கூறு (Equi-partition of Energy)

இந்தக் குண்டுகள் கூட்டத்தில், துப்பாக்கி குண்டுகளின் சராசரி வேகத்தில் ஒரு பீரங்கி குண்டு என்கிற எறிபொருளை (projectile) எறிவதாகக் கற்பனை செய்துகொள்வோம். பலவித எறிபொருள்களின் சக்தி, எடை மற்றும் வேகத்தின் வர்க்கத்தின் விகிதத்தில் இருப்பதாக 109ஆம் பக்கத்தில் பார்த்தோம். எனவே, நமது இந்த நிகழ்ச்சியில் ஈடுபட்டிருக்கும் குண்டுகளின் வேகம் ஒரேமாதிரி இருப்பதனால், பெரிய எறிபொருள், அதன் எடை அதிகமாயிருக்கும் காரணத்தால் மற்றத் துப்பாக்கி குண்டுகளைவிட அதிக சக்தி உடையதாய் இருக்கிறது. பெரிய எறிபொருள் ஆயிரம் குண்டுகள் எடை இருந்தால் அதில் சாதாரண ஒரு தனி குண்டின் சக்தியைவிட ஆயிரம் மடங்கு அதிக சக்தி இருக்கிறது.

ஆனால், அந்தப் பளுவான மற்றும் ஆயிரம் மடங்கு அதிக சக்தியுள்ள எறிபொருள் வெகுநேரத்திற்கு இச்சிறு குண்டுகளோடு அலைந்து

கொண்டிருக்க முடியாது. மற்றக் குண்டுகள் தன் முன்பக்கத்தில் மோதுவதை ஏற்றுக்கொள்ளுதலே அதன் முதல் அனுபவமாகும். குண்டுகள் எல்லாமே பெரிய எறிபொருளின் வேகத்திலேயே நகருவதால் மிகச் சில குண்டுகளே அதைக் கடந்து செல்லமுடியாமல் அதன் பின்புறத்தைத் தாக்குகின்றன. மற்றும், அவைகள் அதைவிட வேகமாக முன்னேற முடியாத காரணத்தினால் பின்னால் இடித்தாலும் (மோதிக்கொண்டாலும்) மிக மெதுவாகவே மோதிக்கொள்கின்றன. ஆனால், அதன் முன்பாகத்தில் விழும் தொடர்ச்சியான அடிகள் (blows) பயங்கரமானவை. இந்தக் குண்டுகள் ஒவ்வொன்றும் அதன் வேகத்தைக் குறைத்து அதன் சக்தியைக் குறைக்கப் பார்க்கின்றன. ஆனால், மொத்த இயக்க சக்தி ஒவ்வொரு மோதலின்போதும் குறையாமல் முன்போலவே இருக்கவேண்டியிருப்பதால் பெரிய எறிபொருளின் சக்தி குறைந்துகொண்டே போகும்போது சிறிய எறிபொருள்களான குண்டுகளின் சக்தி அதிகமாகிக்கொண்டிருக்கவேண்டும்.

இதைப்போல் எத்தனைக் காலம் சக்தி மாற்றம் (interchange of energy) நடந்துகொண்டேயிருக்கும்? உதாரணமாக, பெரிய எறிபொருள் தன் இயக்க சக்தியையெல்லாம் இழந்து அசைவற்ற நிலைக்கு வரும்வரை இது தொடருமா? இது கணக்கறிஞர்களுக்குக் கணிதத்தால் தீர்வு காணக்கூடிய ஒரு சிக்கல் (கேள்வி) ஆகும். இதன் விடையை 1859-ல் மாக்ஸ்வெல் (Maxwell) என்பவர் எடுத்துரைத்தார். அந்தப் பெரிய எறிபொருளினிடமிருந்து எல்லாச் சக்தியும் பறிக்கப்படுவதில்லை. அதனுடைய வேகம் குறையக் குறைய எல்லாவிதங்களிலும் நிபந்தனைகள் மாறுபடுகின்றன. இந்த நிபந்தனைகள் நடைபெற நாம் அனுமதித்தால், எறிபொருளின் சக்தி சிறிய குண்டுகளின் சராசரி சக்திக்குக் குறைந்துகொண்டு வருவது தெரியும். இந்த நிலை வந்தவுடன், குண்டுகளின் தாக்குதலினால் அதன் சக்தி குறைவதைப்போல் அதிகமாவதற்கும் வழி இருப்பதனால் இந்த எறிபொருளானது சிறு குண்டுகளின் சராசரி வேகத்தோடேயே நகர்ந்துகொண்டிருக்கிறது.

மாக்ஸ்வெல்லும் அடுத்து வந்தவர்களும், ஒரு வாயுவில் எவ்வளவு விதமான மாலிகியூல்களைக் கலந்தபோதிலும், அவைகளின் எடை ஒன்றுக்கொன்று அதிகமாக மாறுபட்டபோதிலும், அவைகளுடைய திரும்பத் திரும்ப நிகழும் மோதல்கள் கடைசியில் பெரிய, சிறிய, கனமுள்ள மற்றும் இலேசான எல்லா மாலிகியூல்களும் ஒரே சராசரி சக்தி உடையனவாக இருக்கும் நிலையை ஏற்படுத்தவேண்டுமென்று மேலும் கண்டார்கள். இதுவே சக்தியின் சமக்கூறு என்னும் விதியாகும்.

உதாரணமாக, காற்று பலவிதமான, மற்றும் .பலவித எடையுள்ள மாலிகியூல்களின் கலவையாகும். அதில், மிகவும் இலேசான ஹீலியம் (helium) மாலிகியூல்களும், ஹீலியம் மாலிகியூலைப்போல ஏழு பங்கு

கனமுள்ள மிக கனமான, நைட்டிரஜன் (nitrogen) மாலிகியூல்களும், ஹீலியம் மாலிகியூலைப்போல எட்டு மடங்கு கனமுள்ள மேலும் கனமான ஆக்ஸிஜன் (oxygen) மாலிகியூல்களும் உள்ளன. எந்த ஒரு கணத்திலும், ஹீலியத்தின் எல்லா மாலிகியூல்களின் சராசரி சக்தி, அவைகள் மிக இலேசாக இருந்துங்கூட, நைட்டிரஜன் மாலிகியூல்களின் சராசரி சக்திக்குச் சமமாக இருக்கிறது என்றும், மேலும் ஆக்ஸிஜனின் மாலிகியூல்களின் சராசரி சக்திக்கு இந்த ஒவ்வொரு மாலிகியூல்களின் சக்தியும் சமமாயிருக்கிறது என்றும் மேலே சொன்ன தேற்றம் கூறுகிறது. இந்த இலேசாக உள்ள மாலிகியூல்கள் வேகமாக நகருவதனுல் தங்கள் குறைந்த எடையால் ஏற்படும் சக்திக் குறைவை ஈடுசெய்துகொள்ளுகின்றன. மற்ற எந்தவிதமான வாயுக்களின் கலவைக்கும் இவ்விதமான விளக்கம் பொருந்தும்.

பலவிதமாக கவனித்துப் பார்ப்பதன்மூலம் இந்தத் தேற்றத்தின் உண்மைப் பொருள் (truths) நிரூபணமாகிறது. 1846ஆம் ஆண்டுக்கும் முன்பாகவே ஒரு வாய்துவாரத்தின்மூலம் வெற்றிடத்தில் வாயுவின் மாலிகியூல்கள் நுழைந்து செல்லும் வேகத்தைக் கவனித்துப் பலவிதமான வாயுக்களின், நகர்ந்து செல்லும் மாலிகியூல்களின் ஒப்பு வேகத்தை கிரஹாம் (Graham) என்பவர் அளந்தார். இது, பலவிதமான மாலிகியூல்களின் சராசரி சக்தி ஒன்றுக்கொன்று சமமாகவே இருந்தது என்பதை நிரூபித்தது. எனவே, எந்த ஒரு மாலிகியூலும் நிரந்தரமாக மற்ற மாலிகியூல்களைக்காட்டிலும் அதிக சக்தியை வைத்துக்கொள்ள அனுமதிக்கப்படுவதில்லை என்பதை நன்ருகத் தீர்மானிக்கப்பட்ட இயற்கையின் விதியாக ஏற்றுக்கொள்ளலாம். இயக்க சக்திகளைப்பொறுத்தவரை, ஒரு வாயு ஒழுங்காக ஏற்படுத்தப்பட்ட கம்யூனிஸ மாநிலமாக அமைகிறது. மேலும், அந்த மாநிலத்திலுள்ள மீறமுடியாத விதியானது மாலிகியூல்களைத் தங்கள் சக்திகளைச் சமமாகவும் நியாயமாகவும் பிரித்துக்கொள்ளும்படி கட்டாயப்படுத்துகிறது.

வாயுவில் இருக்கும் மாலிகியூல்களின் சராசரி நகரும் சக்தியானது வாயுவின் வெப்பநிலையின் விகிதத்தில் இருக்கிறது. உண்மையிலேயே இதுவே வெப்பத்தை விவரிக்கும் (define) முறையாகும். வெப்பநிலையைச் சாதாரண வழக்கத்தில் இருக்கும் ஃபாரன்ஹீட் (Fahrenheit) அல்லது சென்டிகிரேட் (Centigrade) அளவில் அளக்காமல் அப்சல்யூட் அளவில் (Absolute Scale) அளக்கவேண்டும். இதில் வெப்பக் கீழ் வரம்பு (absolute zero) $-273°$ சென்டிகிரேட் அல்லது $-459°$ ஃபாரன்ஹீட்டில் இருக்கும். இந்த வெப்பக் கீழ் வரம்பு என்பது மேலும் இழக்க வெப்பம் இல்லாமல் உள்ள பொருளின் வெப்பநிலையைக் குறிப்பதனுல், இதுவே இருக்கக்கூடிய மிகக் குறைந்த வெப்பநிலையாகும். ஆராய்ச்சி சாலையில் இதில் ஒரு டிகிரிக்கும் குறைவான பின்னத்தின் வெகு சமீபம்

வரை அடையலாம். இந்த வெப்பநிலை காற்றையும் ஹைட்ரஜன் மற்றும் மிகக் குறைந்த வெப்பநிலைகொண்ட வாயுவான ஹீலியத்தையும் உறையச்செய்யும். அண்டத்தூடுள்ள (inter stellar) பரப்பில் விண் மீனுக்கு வெகுதூரத்தில் வைக்கப்படும் ஒரு வெப்பமானியானது (thermometer) வெப்பக் கீழ் வரம்புக்கு மேல் நான்கு டிகிரி உஷ்ணத்தைத்தான் காட்டக்கூடும். இதைவிடக் குறைவான வெப்ப நிலையை அண்டத்தின் (galactic system) எல்லைக்கு அப்பாலேதான் அடையமுடியும்.

சில சிறிய மாற்றங்களைச் செய்வதனால், சக்தி சமக்கூறு என்னும் விதியானது திரவ மற்றும் திட பதார்த்தங்களுக்குங்கூடப் பொருந்தும்.

திரவங்களிலும் வாயுக்களிலும், மாலிகியூல்களின் கூட்டங்களில் நம் கற்பனை பீரங்கி குண்டை எறிவதைப்போன்ற சோதனைகளை நடத்தி அதன் விளைவை கவனிக்கலாம். லைக்கோபோடியம் (lycopodium) விதை அல்லது காம்போஜ் (gamboge) போன்றவைகளின் நன்ருகப் பொடி செய்யப்பட்ட தூள்களை எடுத்துக்கொண்டு இவைகளை வாயு அல்லது திரவத்திலுள்ள சாதாரண மாலிகியூல்களின் இடையே உள்ள சிறந்த மாலிகியூல்களின் (super-molecules) பாகத்தை எடுத்துக்கொள்ளச் செய்யலாம். ஒரு சக்திவாய்ந்த உருப்பெருக்கி (microscope) இந்தச் சிறந்த மாலிகியூல்கள் முழு அசைவற்ற நிலைக்குக் கொண்டுவரப்படுவதில்லை என்பதையும் திரும்பத் திரும்பச் சிறியதும் கண்ணுக்குத் தெரியாத மாலிகியூல்களினுல் தாக்கப்படுவ தால் கொஞ்சம் இயக்க சக்தியோடு கூடியதாயிருக்கிறது என்பதையும் காட்டுகிறது. நேரமாக ஆகக் குறைவதற்கான அறிகுறிகள் காண் பிக்காத செயின்ட் வைடஸ் (St. Vitus) என்பவருடைய நாட்டியத்தால் அவை பாதிக்கப்பட்டவைபோன்று காணப்படுகின்றன. இந்த அசைவு கள் 'பிரௌனியன் அசைவுகள்' (Brownian movements) எனப் படும். இதைத் தாவரங்களின் சாற்றில் ராபர்ட் பிரௌன் என்னும் தாவரநூல், வல்லுநர் முதலில் கண்டதால் இதற்கு இப் பெயர் வந்தது. அவைகளை, பிரௌன் முதலில் அவற்ருல் தாக்கப்பட்ட சிறு துகள்களில் உள்ள உயிர் வாழ்வின் ஆதாரமே என்று சொன்னுர். ஆனுல், மெழுகுத் துகள்களிலும் இதேபோல அசைவுகள் காணப்பட்டவுடன் அவர் தனது அபிப்பிராயத்தை விட்டுவிடவேண்டியதாயிற்று. வரிசையாகச் செய்யப்பட்ட சோதனைகள்மூலம் பெரின் (Perrin) என்பவர் சிறிய திடப்பொருளின் தூள்கள் காற்றும் மற்ற வாயுக்களின் மாலிகியூல் களினுல் தாக்கப்பட்டபோது பிரௌனியனின் அசைவுகளைக் கண்ட தோடு மட்டுமன்றி அவைகளை அளந்து கணக்கிட்டு இந்த வாயுக்களின் மாலிகியூல்களின் எடையை மிகச் சரியாகக் கண்டுபிடித்தார்.

திடப்பொருள்களின் மாலிகியூல்கள் அதிக சக்தி உடையனவாக இல்லாததனுல் அவைகள் மிகவேகமாக நகருவதில்லை. அவைகள் மிகக் குறைந்த சக்தி உடையனவாக இருப்பதனுல் தங்கள் பக்கத்தில் இருக்கும் மாலிகியூல்களின் பிடியிலிருந்துகூடத் தங்களை விடுவித்துக் கொள்ள முடியாமலும், தங்களுடைய ஒப்புநிலையை (relative position) மாற்றிக்கொள்ள முடியாமலும் இருக்கின்றன. நாம் திடப் பொருளைச் சூடாக்கினுல் அவைகளுடைய மாலிகியூல்கள் அதிக சக்தியை அடைந்து வேகமாக நகர ஆரம்பிக்கின்றன. கொஞ்ச நேரத்திற்குப் பிறகு பக்கத்தில் இருக்கும் மற்ற மாலிகியூல்களின் இழுத்தல்களைக் (pulls) கூடப் பரிகசிக்கும் வேகத்தை அடைகின்றன. ஒவ்வொரு மாலிகியூலும் தன் இச்சைப்படி நகருவதற்குத் தேவையான சக்தியைப் பெறுகின்றது. ஒன்றுக்கொன்று மோதிக்கொண்டும் மற்றவைகளைத் தள்ளிவிட்டுத் தங்களுக்கு வழி செய்துகொண்டும் வேகமாய் நகரக்கூடிய, சுதந்திரமாகவும் தாராளமாகவும் செல்லும் மாலிகியூல் கூட்டங்கள் ஏற்பட்டுவிடுகின்றன. இப்பொழுது அந்தப் பொருளானது திரவநிலையை அடைந்துவிடுகிறது. இதைச் சரியாக விளக்க நாம் உருகி, நீராக மாறிவிடும் பனிக்கட்டியை எடுத்துக்கொள்வோம். உறைநிலையில் கெட்டியாய் ஒன்றையொன்று பிடித்துக்கொண்டிருந்த மாலிகியூல்கள், பனிக்கட்டி உருகி திரவமானதும் விடுபட்டு ஒன்றையொன்று தாராளமாய்க் கடந்துசெல்கின்றன. இன்னமும் அவை தம் பக்கத்தில் இருக்கும் மாலிகியூல்களின்மேல் விசைகளைப் (forces) பிரயோகிக்கின்றன. ஆனுல், இந்த விசைகள் இயக்கத்தை (motion) தவிர்க்கக்கூடிய பலம் பொருந்தியவை அல்ல. திரவத்தை மேலும் சூடாக்கி மாலிகியூல்களின் இயக்க சக்தியை மேலும் அதிகமாக்கினுல் தங்களைக் கட்டுகளிலிருந்து முழுவதுமாக விடுவித்துக்கொண்டு வெளிப்பட்டு வாயு அல்லது ஆவியாக மாறி தாராளமாக வானவெளியில் பறக்க ஆரம்பிக்கின்றன. நாம் மேலும் சூடாக்கிக்கொண்டேயிருந்தால் முழுப் பொருளும் சிறிது நேரத்திற்குள் வாயுநிலையை அடைந்துவிடுகிறது. இந்த வாயுவை மேலும் சூடேற்றினுல், அது மாலிகியூல்-குண்டுகளை (molecule-bullets) மேலும் வேகத்தோடு பறக்கச்செய்வதோடு அவைகளின் இயக்க சக்தியையும் அதிகமாக்குகிறது.

அணுக்கள்

வாயு நிலையிலே, ஒவ்வொரு தனி மாலிகியூலும் தங்களைக்கொண்டுள்ள திட அல்லது திரவபதார்த்தங்களின் இரசாயனத் தன்மைகளைத் (chemical properties) தம்மிடம் இருத்திக்கொள்கின்றது. உதாரணமாக, நீராவியின் மாலிகியூல்கள் சர்க்கரை அல்லது உப்பை ஈரமாக்குகின்றன. அல்லது தண்ணீரைப்போலவே, நீர்க்கப்படாத (unslaked) சுண்ணும்பு அல்லது பொட்டாசியம் குளோரைடு போன்ற நீர் உறிஞ்சும் பொருள்களுடன் சேருகின்றன.

இன்னமும் மேலும் மேலும் மாலிகியூல்களைப் பிரிக்கமுடியுமா? லுக்ரிடீயஸ் (Lucretius) மற்றும் அவரின் முன்னோடிகளும் இந்தக் கேள்விக்கு முடியாது என்ற பதிலைச் சொல்லியிருப்பார்கள். அவர்களின் நினைப்பிற்கும் அப்பாற்பட்ட ஒரு சாதாரண உதாரணமானது அவர்களின் ஊகம் தவறானது என்பதைக் காண்பிக்கும்.

ஒரு சாதாரண மின்கலச்சுற்றில் (electric cell circuit) உள்ள இரு கம்பிகளை ஒரு தம்ளர் நீரில் வைத்தால், வாயுவின் கொப்புளங்கள் கம்பிகளின் மேற்புறத்தில் வந்து சேருவதைக் காணலாம். இரசாயன சோதனையானது இந்த இரு வாயுக்களும் தன்மையில் முற்றிலும் மாறுபட்டவைகளாக இருக்கின்றன என்று காண்பிக்கிறது. ஆகவே, அவைகள் இரண்டும் நீராவியாக இருக்கமுடியாது. உண்மையிலேயே அவை இரண்டுமே நீராவியல்ல. அவற்றில் ஒன்று ஆக்சிஜன், மற்றொன்று ஹைடிரஜன். ஆக்சிஜனைவிட ஹைடிரஜன் இருமடங்கு காணப்படுகிறது. மின்சாரத்தின் மின்னோட்டமானது (electric current) நீரின் ஒவ்வொரு மாலிகியூலையும் இரண்டு பங்கு ஹைடிரஜனுகவும் ஒரு பங்கு ஆக்சிஜனுகவும் பிரிக்கிறது என்று நாம் இதிலிருந்து முடிவு செய்கிறோம். மாலிகியூலிலிருந்து பிரிக்கப்படும் இந்தச் சிறிய பொருள்களுக்கு அணுக்கள் என்று பெயர். நீரின் ஒவ்வொரு மாலிகியூல்களிலும் இரண்டு ஹைடிரஜன் (H) அணுக்களும், ஒரு ஆக்சிஜன் (O) அணுவும் இருக்கின்றன. இதுவே 'H_2O' என்ற இரசாயன சூத்திரத்தால் குறிப்பிடப்படுகிறது.

ஒரேவிதமான தன்மைகொண்ட அணுக்களைக்கொண்ட பொருளை நாம் தனிமம் (element) என்று குறிக்கிறோம். மற்றும் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட விதங்களைக்கொண்ட மாலிகியூல்களைக்கொண்ட பொருளைக் கூட்டுப்பொருள் (compound) என்கிறோம். உதாரணமாக, ஹைடிரஜனும் ஆக்சிஜனும் தனிமங்களாகும். ஆனால், இந்த இரண்டையும் இரசாயன முறையில் ஒன்று சேர்ப்பதால் உண்டாகும் நீரானது கூட்டுப்பொருளாகும்.

மேற்சொன்ன முறையிலாவது அல்லது பலவித வேறு முறைகளிலாவது, பூமியில் இருக்கும் செருப்புகள், கப்பல்கள், முத்திரைபோட உதவும் மெழுகு, முட்டைக்கோசு, அரசர்கள், தச்சர்கள், கடற்குதிரைகள், சிப்பிகள் மற்றும் நாம் நினைக்கக்கூடிய எந்தப் பொருளையும் அணுக்களாகப் பிரிக்கலாம். பூமியில் நாம் பார்க்கும் பலவிதமான பொருள்களிலிருந்து நம்பமுடியாத அளவில் பலவிதமான அணுக்கள் வெளியாகலாம் என்று நாம் நினைக்கலாம். ஆனால், உண்மையில் அந்த மாதிரியான பொருள்கள் மிகக்குறைவே. அதே அணுக்களே திரும்பத் திரும்ப வந்துசேருகின்றன. கடலிலோ அல்லது பூமியிலோ இல்லாத பலவித நிறங்களைத்தவிர இயற்கையில் நாம் பார்க்கும் எல்லா நிறங்

களையும் எப்படி நிற அச்சில் (colour-print) உள்ள மூவர்ணங்களைக் கொண்டு உண்டாக்க முடியுமோ அதேபோல் பலவிதமான விதங்களில் தங்கள் சேர்க்கை வீதத்தில் (composition) அணுக்கள் சேருவதால் அல்லாமல் அவைகளில் சிலவிதமான அணுக்களைப் பலவிதங்களில் சேர்ப்பதன்மூலம் பூமியில் நாம் பார்க்கும் பலவிதமான பொருள்கள் உண்டாகின்றன.

உலகத்திலுள்ள பொருள்களின் பகுப்பு (analysis) இதுவரை 92 முக்கியமான மாறுபட்ட விதங்களைக்கொண்ட அணுக்களைமட்டுமே வெளியாக்கியிருக்கிறது. இந்த 92 தனிமங்களிலும் பெரும்பான்மை யானவை கிடைத்தற்கரியதாய் இருக்கின்றன. நாம் சாதாரணமாகக் காணும் பொருள்களெல்லாம், ஹைடிரஜன் (H), கார்பன் (C), நைட் ரஜன் (N), ஆக்சிஜன் (O), சோடியம் (Na), மக்னிசியம் (Mg), அலு மினியம் (Al), சிலிகான் (Si), பாஸ்பரஸ் (P), கந்தகம் (Sulphur-S), குளோரின் (Cl), பொட்டாசியம் (K), கால்சியம் (Ca), மற்றும் இரும்பு (Fe) ஆகிய 14 விதமான அணுக்களின் பலவிதமான சேர்க்கையின் (combination) மூலம் ஆனவை.

இந்தமாதிரியாகப் பலவிதங்களில் மாறுபட்ட பொருள்களைக் கொண்ட பூமியானது பலவித அணுக்கள் என்னும் செங்கற்களால் கட்டப்பட்ட ஒரு கட்டடமாகும். இவைகளில் 14 விதங்களைக்கொண்ட அணுக்களே பூமியில் அதிகம் கிடைக்கின்றன. மற்றவை வெகு அரிதாகவே கிடைக்கின்றன.

விண்மீனிலிருந்து வரும் ஒளியில் நிறமாலையானது எப்படி விண் மீனின் வளிமண்டலத்தின் (atmosphere) சேர்க்கை வீதத்தைப் (composition) பற்றித் தெரிவிக்கிறது என்பதை முன்பே (பக்கம் 38) பார்த்தோம். மிகச்சில முக்கியமற்ற விலக்கல்களோடு (exceptions) விண்மீன்களின் நிறமாலைகளின் ஒவ்வொரு கோடும் பூமியில் இருக்கும் ஒவ்வோர் அணுவிலிருந்து தோன்றியதென்று தெரிந்துகொள்ளலாம். இதனால், விண்மீன்களின் உட்பகுதியில் இருக்கும் அணுக்களின் விதங் களைப்பற்றி நமக்கு நேரிடையாக ஒன்றும் தெரியாததால் இந்த முழுப் பேரண்டமும் நமக்குத் தெரிந்த 92 விதமான அணுக்களினாலேயே உண்டாகியது என்று தோன்றுகிறது. பூமியில் கிடைப்பதைப்போலவே விண்மீன்களிலும் கிட்டத்தட்ட இதே ஒப்பு விகிதத்தில் (relative proportion) பலவிதமான அணுக்கள் இருக்கின்றன என்று பின்னர்ப் (அதிகாரம் 4) பார்ப்போம். ஆகவே, பூமியில் அதிகமாகக் கிடைக்கும் 14 தனிமங்களில் 12 பொருட்கள் விண்மீன்களிலும் மிக அதிகமாகக் கிடைக்கின்றன. பூமியென்பது, அநேகமாக சூரியன் எனப்பட்ட (அதிகாரம் 6) ஒரு குறிப்பிட்ட விண்மீனின் வளிமண்டலத்திலுள்ள வாயுக்களால் ஆனதென்று நாம் எடுத்துக்கொண்டாலும் மேற்

சொன்னது ஆச்சரியமான விஷயமில்லை. விண்மீன்களின் வளி மண்டலத்தில் இருப்பதைவிட பூமியில் ஹைடிரஜனும் ஹீலியமும் குறைவாகவே இருக்கின்றன. ஆனால், இதற்கு ஒரு முக்கியக் காரணம் இருக்கிறது. பூமியானது சூடான வாயுவினால் வியாபிக்கப்பட்ட ஒரு பந்தாயிருந்தபோது, அதன் புவிஈர்ப்புச் சக்தி, இந்தப் பொருள்களில் வேகமாக நகரும் அணுக்களைப் பிடித்திருத்திக்கொள்ளப் போதுமான தாக இருந்திராது. எனவே, அந்த வாயுக்கள் சீக்கிரமாக வியாபித்து பூமியில் என்றைக்குமே இருக்கமுடியாதபடி போய்விட்டன. எனவே, மிகக்குறைந்த ஹீலியமே பூமியில் இருக்கிறது; மற்றும் ஹைடிரஜனும், மற்றப் பொருள்களின் அணுக்களோடுகூடிய கூட்டு நிலையில்தான் காணப்படுகின்றது.

அணுவின் அமைப்பு (The Structure of the Atom)

சமீபகாலம்வரை அணுக்கள் என்பவை இந்தப் பேரண்டம் என்ற கட்டடத்தைக் கட்ட (நிர்மாணிக்க) உதவும் நிலையான செங்கற்களாகவே கருதப்பட்டன. பேரண்டத்தின் மாற்றங்களெல்லாம், அழிக்கமுடியாத நிலையான அணுக்களின் ஒரு மாற்றமைப்பாகவே (rearrangement) எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டன. இவை முறையே (in turn) ஒரு சிறு குழந்தையின், செங்கற்கள் கொண்ட பெட்டியைப்போல, பல கட்டடங் களைக் கட்டிக்கொள்கின்றன. இருபதாம் நூற்றுண்டின் பௌதிகத்தின் கதை, முதலில் தோன்றிய இந்தக் கருத்தை உடைத்தெறிந்த கதையே யாகும்.

குருக்ஸ் (Crookes), லெனர்ட் (Lenard) மற்றும் இவர்களைவிட உயர்ந்தவரான சர். ஜே. ஜே. தாம்சன் (J. J. Thomson) என்பவர்கள் சென்ற நூற்றுண்டின் இறுதியில் அணுவைப் பிளக்க முயற்சி செய் தார்கள். பேரண்டத்தின் பிளக்கமுடியாத செங்கற்கள் என 2000 வருடங்களுக்கும் அதிகமாகக் கருதப்பட்டு வந்த அமைப்புகள் (structures), திடீரென, துண்டுகளாக வெட்டப் (பிளக்க) படக்கூடும் எனக் காண்பிக்கப்பட்டது. 1897-ல் தாம்சன் என்பவர், எந்தவிதமான அணுக்களிலிருந்து வந்தவையானாலும் அவை ஒன்றுக்கொன்று சற்றும் மாற்றமில்லாமல் ஒரேமாதிரியாக இருக்கின்றன எனக் கண்டுபிடித்தார். அவைகள் சம எடையுள்ளனவாகவும், சம அளவான எதிர்மின் ஏற்றங் களுடையனவாகவும் (negative electric charges) இருந்தன. இந்தக் கடைசியில் சொல்லப்பட்ட தன்மையின் விளைவாக அவை எலெக்ட்ரான் கள் (electrons) என்று அழைக்கப்படுகின்றன. ஆனால், அணுவானது எலெக்ட்ரானால்மட்டுமே உண்டுபண்ண முடியாது. ஏனென்றால், ஒவ்வோர் எலெக்ட்ரானும் எதிர்மின் ஏற்றமுடையதாக இருப்பதனால் எலெக்ட்ரான்கள்மட்டுமே கொண்ட எந்த ஓர் அமைப்பும் எதிர்மின் ஏற்றமுடையதாகவே இருக்கும். மின்சாரத்தின் இரு எதிர்மின்

ஏற்றங்களும், நேர்மின் ஏற்றங்களும் ஒன்றை ஒன்று எதிர்த்துக் கொள்கின்றன. மற்றும் ஒரு நேர்மின் ஏற்றமும் ஓர் எதிர்மின் ஏற்றமும், ஒன்றை இன்னொன்று கவர்கின்றன (attract). இதன்மூலம், ஒரு பொருளோ அல்லது அமைப்போ, நேர் அல்லது எதிர்மின் ஏற்றமுடையதாகவே அல்லது மின் ஏற்றமே இல்லாமல் இருக்கிறதா என்பதைச் சுலபமாக அறியமுடிகிறது. அணுவில் மின் ஏற்றமே இல்லையென்று ஆராய்ச்சியினால் தெரியவருவதால், அணுவில் எங்கேயாவது ஒரு பாகத்தில் எலெக்ட்ரான்களின் கூட்டு எதிர்மின் ஏற்றத்தைப் பலனற்றதாகச் செய்ய அதே அளவுள்ள நேர்மின் ஏற்றம் இருக்க வேண்டும்.

1911ஆம் ஆண்டில் லார்ட் ரூதர்ஃபோர்டு (Lord Rutherford) மற்றும் பலராலும் செய்யப்பட்ட சோதனைகள் அணுவின் சிற்பசாத்திரத்தை (architecture) விளக்கின. எப்படிக் கதிரியக்கப் பொருள்களிலிருந்து வெளிவரும் ஆல்பா துளிகளில் (α-particles) வெகு வேகமாகச் செல்லும், நேர்மின் ஏற்றமுடைய மிகச்சிறிய துகள்களை இயற்கையானது உற்பத்திசெய்து வெளியிட்டுக்கொண்டேயிருக்கிறது என்பதைப் பின்னர் (பக்கம் 129) கவனிப்போம். இந்தச் சிறிய துகள்களை அணுவுக்குள் வேகமாக நுழையவிட்டு அதன் பலனைக் கவனிப்பதே ரூதர்ஃபோர்டு என்பவரின் முறையாகும். இந்தக் குண்டுகளில் பெரும்பான்மையானவை, ஏதோ அங்கே அணுவே இல்லாததைப்போல், அணுவிற்குள் நேராக நுழைந்தன என்ற ஆச்சரியமான பலனை அவர் கண்டார். அஃது ஒரு பிசாசின்மேல் குண்டு சுடுவதைப்போல இருந்தது.

இருப்பினும், அணு முழுவதுமாக பிசாசைப்போல உணர முடியாத பொருளாக இல்லை. மிகச் சொற்பமான குண்டுகளே, கிட்டத்தட்ட பத்தாயிரத்துக்கு ஒன்று வீதம்—ஏதோ ஒரு மிக உண்மையான பொருளைச் சந்தித்ததைப்போன்று தங்கள் பாதையிலிருந்து சற்று விலகிச்சென்றன. கணிதத்தின்மூலம் கணக்கிட்டபோது இந்தத் தடுக்கும் பொருள்கள் அணுவினுள் தெரியாமல், மறைந்து இருக்கும் நேர்மின் ஏற்றங்களே எனத் தெரியவந்தன.

இந்த எறிபொருள்களின் பாதைகளை நன்கு கூர்ந்து படித்ததன் மூலம், அணுவின் முழு நேர்மின் ஏற்றமும், ஓர் அங்குலத்தின் மில்லியனில் ஒரு பாகத்தின் மில்லியனில் ஒருபாகம் பரிமாணங்கொண்ட வெகு சிறிய இடத்தில் சேர்த்துவைக்கப்பட்டிருக்கவேண்டும் என்று தெரியவந்தது. இந்தவிதமாக ரூதர்ஃபோர்டு, அவர் பெயராலேயே வழங்கப்படும் அணுவின் அமைப்பைப் பிரேரேபித்தார். அவர், நேர்மின் ஏற்றத்தை எடுத்துச்செல்லும்படியானதும், எதிர்மின் ஏற்றம் கொண்ட எலெக்ட்ரான்கள் தன்னைச் சுற்றி, பாதைகளில் வரும்படி

யானதுமான, எடையுள்ளதும் ஆனால் மிகவும் சிறியதுமான அணுக்கரு என்பதில் அணுவின் இயற்கைக் குணமும் மற்றும் அதன் இரசாயனத் தன்மைகளும் இருப்பதாக நினைத்தார். அணுவில் எலெக்ட்ரான்கள் நகர்ந்துகொண்டேயிருக்கின்றன என்று அவர் எடுத்துக்கொள்ள வேண்டியிருந்தது. எப்படி பூமி தன் சுற்றுப்பாதையில் செல்லாவிட்டால் ஈர்ப்பு விசையின் கவர்ச்சியினால் சூரியனின்மேல் போய் விழுந்து விடுமோ அதேபோல் எலெக்ட்ரான்கள் அணுவில் நகர்ந்து செல்லா விட்டால், நேர் மின்னோட்டத்தின், எதிர் மின்னோட்டத்தைக் கவரும் சக்தியானது இவை இரண்டையும் அணுவின் உட்கருவுக்குள் இழுத்து விடும். சுருங்கச் சொல்லின், ரூதர்ஃபோர்டானவர், அணுவானது ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தைப் (solar system) போலவே அமைக்கப்பட் டிருக்கிறது என்று நினைத்தார். அவரின் ஊகப்படி கனமான அணுக் கருவானது சூரியனைப் போலவும் மற்ற எலெக்ட்ரான்கள் கோள்களைப் (planets) போலவும் வேலைசெய்தன.

இந்தப் பேரண்டத்தின் கலவைப் பொருள்களின் உண்மைத் தன்மையை விஞ்ஞானத்தால் என்றும் கண்டுபிடிக்க முடியாதென்று முன்னமே கண்டோம். உண்மையிலேயே இது நம் அறிவுக்கு அப்பாற் பட்டதாகவே இருக்கிறது. பொருளின் சில உண்மைத் தன்மைகளை விளக்கும் மற்றும் அவைகளுக்குக் காரணம் காட்டும் ஒரு மாதிரி (model) அல்லது படத்தைத்தான் நாம் அடைய விரும்பலாம். இதுவும் முடியாவிட்டால் பொருளின் வேறு சில தன்மைகளை விளக்காத சில வேறு மாதிரி அல்லது படத்தைச் சேர்த்துக்கொள்ளவேண்டும். இதே போல் செய்துகொண்டே போகலாம்.

ரூதர்ஃபோர்டின் படமானது அணுவின் எல்லாத் தன்மைகளையும் விளக்குவதில்லை என்றாலும் அதிக எண்ணிக்கையில் அவைகளை விளக்குவதோடு, நமது விவாதத்திற்கு மிகவும் முக்கியமாக உள்ள எல்லாத் தன்மைகளையும் விளக்குகிறது. இதன் காரணமாக நாம் அணுவை ரூதர்ஃபோர்டின் படத்தின்மூலமாகவே தொடர்ந்து விளக்கு வோம். போர் (Bohr) மற்றும் ஏனையவர்களின் விளக்கங்கள்மூலமாக அணுவின் இன்னமும் மேலான தன்மைகளை விளக்குவோம்.

இந்தப் படத்தின்படி, எலெக்ட்ரான்கள் எல்லாம் அணுக்கருவைச் சுற்றி, அதற்குள் இழுக்கப்படாமல் தம்மைக் காப்பாற்றிக்கொள்ளத் தேவையான வேகத்தோடு செல்லுகின்றன. இவைகளின் வேகம் மிக பயங்கரமானதாக இருக்கிறது. சாதாரண எலெக்ட்ரான் விநாடிக்கு நூற்றுக்கணக்கான மைல்கள் வேகத்தில், அணுக்கருவைச் சுற்றி ஒரு விநாடிக்குப் பல ஆயிரம் மிலியன் மிலியன் தடவைகள் சுற்றுகின்றன. எனவே, அவைகளின் சுற்றுப்பாதை (orbit) சிறிதாக இருத்தல், அவை விண்மீன்களைவிடவும், கோள்களைவிடவும் சுற்றுப்பாதையில் மிக வேகமாக இயங்குவதைத் தடுப்பதில்லை.

அணுக்கருவின் சுற்றுப்பகுதியில் இருக்கும் பரப்பைக் காலிசெய்து மற்ற அணுக்கள் அதற்கு மிக அருகில் வராமல் தடுத்து இந்த எலெக்ட்ரான்களின் பாதைகள் அணுவிற்கு அளவைக் கொடுக்கின்றன. எலெக்ட்ரான்களால் காலி செய்யப்பட்ட இடத்தின் கன அளவானது, இந்த எலெக்ட்ரான்களின் மொத்த கன அளவைவிட மிக அதிகமா யிருக்கிறது. கிட்டத்தட்ட இவைகளின் விகிதமானது, போர்க்களத் திற்கும், துப்பாக்கி குண்டுகளுக்கும் உள்ள விகிதத்தில் இருக்கிறது. 2×10^{-13} செ.மீ. ஆரமுள்ள ஒரு தனி எலெக்ட்ரானைவிட, 2×10^{-8} செ.மீ. ஆரமுள்ள ஓர் அணுவானது, ஆரத்தில் 100,000 மடங்கு அதிகமாகவும், அதன் கன அளவைவிட ஓர் ஆயிரம் மிலியன் மிலியன் பங்கு அதிக கன அளவுள்ளதாகவும் இருக்கிறது. அணுக்கருவானது சாதாரணமாக, அணுவின் எல்லா எலெக்ட்ரான்களின் மொத்த எடையைவிட 3000 அல்லது 4000 மடங்கு அதிக எடையுள்ளபோதிலும் ஒரு தனி எலெக்ட் ரானைப் போன்றோ அல்லது அதைவிடக் குறைவான அளவுடைய தாகவோ இருக்கிறது.

வானவெளிப் பரப்பின் சூன்யத்தைப்பற்றி (emptiness) முன் னமே குறிப்பிட்டுள்ளோம். அப் பரப்பின் ஏதாவது ஒரு புள்ளியை நம் இஷ்டப்படி எடுத்துக்கொண்டால் அந்தப் புள்ளியை ஒரு விண்மீன் ஆக்கிரமித்துக்கொள்ள முடியாமல் தடுப்பவை ஏராளமாக இருக் கின்றன. ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தில்கூட இந்தச் சூன்யவெளியே அதிக மிருக்கிறது. நம் மனப்போக்கில் ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் உள்ளே ஏதாவது ஒரு புள்ளியை எடுத்துக்கொண்டால் அந்தப் புள்ளியை ஒரு கோளோ அல்லது வால்மீனோ (comet), எரிமீனோ (meteor) அல்லது ஒரு சிறிய பொருளோ ஆக்கிரமித்துக்கொள்ள முடியாமல் தடுப்பவை இன்னமும் ஏராளம். பௌதிகத்தின் பரப்பிலுங்கூட இந்தச் சூன்ய மானது பரவிநிற்பதை நாம் இப்பொழுது காண்கிறோம். அணுவின் உட்பாகத்தில் ஏதாவது ஒரு புள்ளியை எடுத்துக்கொண்டால் அஃது ஏதாவது ஒரு பொருளினால் ஆக்கிரமித்துக்கொள்ள முடியாமல் செய் பவை ஒன்றுக்கு மிலியன் மிலியன் என்ற விகிதத்தில் இருக்கின்றன. வானவெளிப் பரப்பானது விண்மீன்கள் நிரம்பியிருத்தலை வாட்டர்லூ நிலையத்தின் (Waterloo Station) உட்பகுதியில் இருக்கும் தூசியின் ஆறு புள்ளிகள் வர்ணித்ததை முன்னமே நாம் கண்டோம். இதே மாதிரி வாட்டர்லூ நிலையத்தைச் சுற்றிப் பறக்கும் சில வண்டுகள், (இவை கார்பன் அணு ஒவ்வொன்றிற்கும் 6 உள்ளன) அணுவானது எலெக்ட்ரான்களால் நிரம்பியிருப்பதையும் மற்ற எல்லாம் சூன்யமா யிருப்பதையும் காண்பிக்கின்றன. மிகப் பெரிய நெபுலாக்களின் பரந்த வானவெளி மற்றும் நெபுலாப் பரப்புகள் முதல் சிறிய அணுவின் அமைப்புவரைப் பேரண்டத்தின் முழு அமைப்பையும் கூர்ந்து கவனித் தால் நம் மனக்கண் முன்னால் சூன்யவெளியைத் தவிர வேறொன்றும்

புலப்படாது. நாம் பலவீனமான ஒரு பேரண்டத்தில் வசிக்கிறோம். இதில் பலவகைகள், திட்டங்கள் மற்றும் அமைப்புகள் (designs) எல்லாம் கணக்கற்றதாய் இருக்கின்றன. ஆனால், திடப்பொருளானது மிகவும் அரிதானதாகவே இருக்கிறது.

அணு எண்கள் (Atomic numbers)

வெவ்வேறு மூலப்பொருள்கள், ஹைடிரஜன், ஹீலியம், ஆர்கான் முதலிய பெயர்களைப் பெற்றுள்ளன. இந்தப் பெயர்கள் அவைகளின் தன்மை அல்லது அவைகள் கண்டுபிடிக்கப்படுவதற்கு ஏதுவாய் அமைந்த சூழ்நிலைகளோடு தொடர்புள்ளதாக இருக்கின்றன. ஹைடிரஜன் தண்ணீரின் பிரதானமான பாகமானதால் அதற்கு அப்பெயர் வந்தது. சூரியனில் முதலில் கண்டெடுக்கப்பட்டதால் ஹீலியத்திற்கு அப்பெயர் வந்தது. மற்றும் ஆர்கான் (α–εργον) மந்தவாயுவாக (inert gas) இருப்பதாலும் மற்ற மூலப்பொருள்களோடு சேராமல் தனித்திருப்பதாலும் அதற்கு அப்பெயர் ஏற்பட்டது. இந்தப் பேரண்டத்தில் வாழ்வதுமட்டுமே அதன் ஒரே வேலையாகும்.

இந்த வெவ்வேறு மூலப்பொருள்களுக்கு 1, 2, 3, 4...என்ற எண்களைக்கொண்டு பெயரிட்டால் பார்ப்பதற்கு அழகுக் குறைவாய்க் காணப்பட்டாலும் மிக எளிதாக இருக்கும். ஏனென்றால், இந்த மூலப்பொருள்களின் இரசாயனத் தன்மைகளும் அந்தப் பொருள்களின் அணுக்களின் அமைப்புகளும் இந்த 1, 2, 3, 4...என்னும் முழு எண்களோடு மிகநெருங்கிய தொடர்பு கொண்டுள்ளன. இவைகளே பலவிதமான அணுக்களில் பாதையில் பறந்து சுற்றிவரும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையாகும். மூலப்பொருள்களின் ‘அணு எண்கள்’ என இவைகள் அழைக்கப்படுகின்றன. 1 முதல் 92 வரையில் அணு எண்கள் கொண்ட அணுக்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளதால் 92 மூலப்பொருள்கள் இருக்கின்றன. இவைகள் 1 முதல் 92 வரையிலுள்ள அணு எண்களை எடுத்துக்கொள்கின்றன.

ஒன்று என்ற அணு எண்ணைக்கொண்ட அணுவே மிக எளியதாகும். ஹைடிரஜன் அணுவின் அணு எண் ஒன்றாகும். இதிலுள்ள ஒரே ஓர் எலெக்ட்ரான் அணுக்கருவைச் சுற்றிவருகிறது. மேலும், அதனுடைய நேர்மின் ஏற்றத்தின் அளவு எதிரான (negative) எலெக்ட்ரானின்மீதுள்ள ஏற்றத்திற்குச் சம அளவில் ஆனால் எதிர்க் குறியில் (negative sign) இருக்கிறது. அணுவின் உட்கருவானது எலெக்ட்ரானைவிட 1847 மடங்கு பொருண்மை (mass) உடையதாய் இருக்கிறது என்று சோதனை தெரிவிக்கிறது. எனவே, நாம் மிகத் தோராயமாக, அணுவின் பொருண்மையானது அணுக்கருவில் செறிவாக்கப்பட்டிருக்கிறது (concentrated) என்று எடுத்துக்கொள்ளலாம்.

இஃது எந்தவிதமான அணுவிற்கும் பொருந்தும் உண்மையென்று விரைவில் நாம் பார்ப்போம்.

இதற்கு அடுத்தபடியானது இரண்டு அணு எண் கொண்ட ஹீலியம் அணுவாகும். ஹைடிரஜனின் அணுக்கருவைவிட நான்கு மடங்கு எடையுள்ள, ஆனல் இருமடங்கு மின் ஏற்றத்தை எடுத்துச் செல்லும். இதன் அணுக்கருவை இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள் சுற்றிவருகின்றன. இதற்கு அடுத்து வருவது மூன்று அணு எண் கொண்ட லிதியம் (lithium) என்ற அணுவாகும். ஹைடிரஜன் அணுக்கருவைவிட ஏழு மடங்கு எடையுள்ளதும், மூன்றுமடங்கு மின் ஏற்றமுள்ளதுமான இதன் அணுக்கருவை மூன்று எலெக்ட்ரான்கள் சுற்றிவருகின்றன. இதுமாதிரியே பூமியில் நமக்குத் தெரிந்த அணுக்களில் மிகக் கனமான, ஹைடிரஜனின் அணுக்கருவைவிட 238 மடங்கு எடையுள்ளதும் தன் அணுக்கருவைச் சுற்றி 92 எலெக்டரான்கள் சுற்றிவரக்கூடியதுமான யுரேனியம் அணுவரை நாம் சொல்லிக்கொண்டு போகலாம்.

அணுவின் இரசாயனத் தன்மைகள் அதன் அணு எண்ணைக் கொண்டு தீர்மானிக்கப்படுகின்றன. பலதரப்பட்ட அணுக்கள் எல்லாம் ஒரே அணு எண் உடையதாய் இருக்கலாம் என்றும் அப்படியிருந்தால் அவைகளின் இர்சாயனத் தன்மைகள் ஒன்ருய் இருக்குமென்பதையும் நாம் பார்ப்போம். இதேபோல் 50 என்ற அணு எண்ணைக்கொண்ட 11 விதமான அணுக்கள் இருக்கின்றன. மற்றும் அவை எல்லாம் சாதாரண வெள்ளியத்தின் (tin) இரசாயனத் தன்மைகள் கொண்டதாய் இருக்கின்றன.

அணு எடைகள் (Atomic weights)

வாயு என்பது தன்னிச்சைப்படி பறந்து திரியும் மாலிகியூல்களின் கூட்டம் என்று நாம் விளக்கம் கொடுத்ததிலிருந்து, ஒரு குறிப்பிட்ட கன அளவு வாயுவில் உள்ள மாலிகியூல்களின் எண்ணிக்கை வாயுவின் இரசாயன அமைப்பைச் சார்ந்து இல்லை என்பதும் வாயுவின் வெப்ப நிலை, கன அளவு, அழுத்தம் ஆகியவற்றைப்பொறுத்தே இருக்கிறது என்றும் நாம் தெரிந்துகொள்ளலாம். ஒரு பொருத்தமான உதாரணத்தை எடுத்துக்கொள்ளும்வரை இந்த விதி எவ்வளவு பிரமாதமானது என்பதை நம்மால் அறிந்துகொள்ளமுடிவதில்லை. நாம் இரண்டு ஃபிளாஸ்குகள் (flasks) எடுத்துக்கொண்டு இரண்டும் ஒரே வெப்ப நிலையை உடையதாய் இருக்கும்படி ஒன்றின் பக்கத்தில் ஒன்ருக நிற்க வைப்போம். அவைகள் இரண்டின் உள்ளிருக்கும் அழுத்தம் வளி மண்டலத்தின் அழுத்தத்திற்குச் சமமாக இருக்க அதன் மூடிகளில் சிறிய துவாரங்களை அமைப்போம். அவைகளில் ஒன்றை மிக்க இலேசான ஹைடிரஜன் வாயுவாலும் மற்ருென்றைக் கனமான ஆக்சிஜன் வாயுவாலும் நிரப்புவோம். இந்த மேற்சொன்ன விதியானது அந்த

ஃபிளாஸ்குகளில் இருக்கும் வாயுக்களின் மாலிகியூல்கள் மாறுபட்ட தன்மைகள் உடையதாயிருப்பினும் அவைகளின் எண்ணிக்கை இரண்டிலும் ஒன்றுகவே இருக்கும் என்று கூறுகிறது.

நாம் அந்த இரண்டு ஃபிளாஸ்குகளையும் எடைபோட்டுப் பார்த்தால் ஒரு ஃபிளாஸ்கில் உள்ள ஆக்சிஜனனது மற்றொரு ஃபிளாஸ்கை விடப் பதினாறு மடங்கு எடையுள்ளதாக இருப்பது தெரியும். இதிலிருந்து நாம் ஒவ்வோர் ஆக்சிஜன் மாலிகியூலும் ஹைடிரஜன் மாலிகியூலைவிடப் பதினாறு மடங்கு எடையுள்ளதாக இருக்கவேண்டுமென்று முடிவு செய்கிறோம். மாறுபட்ட பொருள்களின் மாலிகியூல்களின் ஒப்பு எடைகளை இந்த முறையிலிருந்து கண்டுபிடிக்கலாம்.

இவைகளின் எடைகள் ஒன்று மற்றொன்றோடு மிக எளிய முறையில் தொடர்புள்ளதாய் இருக்கின்றன என்பது வெகு முன்னமே தெரிந்திருக்கிறது. உண்மையிலேயே இவைகளை ஒரு நிச்சயமான எடை அலகின் (unit) சரியான அல்லது சரியான பெருக்குத் தொகையில் (exact multiple) தெரிவிக்கலாம். இந்த அலகு கிட்டத்தட்ட ஹைடிரஜன் அணுவின் எடைக்குச் சமமாகும். ஆனால், இதை ஆக்சிஜன் அணுவின் பதினாறில் ஒரு பாகம் என்று சுலபமாக விவரிக்கலாம். ஏனென்றால், இந்தமாதிரி விவரித்தலானது பலவிதமான அணுக்களின் எடைகளை இந்த அலகின் முழு எண்களின் பெருக்குத் தொகைக்கு (integral multiples) மேலும் சமீபமாகக் கொண்டுவருகிறது.

இந்த அலகால் அளக்கப்படும் எந்தவிதமான மாலிகியூலின் எடையும் அதன் 'மாலிகியூல் எடை' என்று அழைக்கப்படுகிறது. இந்த அலகால் அளக்கப்படும் எந்த ஓர் அணுவின் எடையும் அந்த அணுவின் 'அணு எடை' என்று அழைக்கப்படுகிறது. பொதுவாக, எந்த அணுக்களுக்கு அணு எண்கள் அதிகமாக இருக்கின்றனவோ அவைகளே அதிக அணு எடைகள் உள்ளனவாக இருக்கின்றன. இவை இரண்டும் ஒன்றுகவே அதிகரிக்கின்றன. ஹைடிரஜனும் அணுக்களில் மிகக் கனமானதும் தவிர மற்றவைகளின் அணு எடையானது அணு எண்ணை விட இருமடங்கு இருக்கிறது. உதாரணமாகக் கீழே உள்ள பட்டியலைக் கவனிப்போம்.

மூலப்பொருள்			அணு எண்	அணு எடை
ஹைடிரஜன்	...	...	1	1
ஹீலியம்	...	...	2	4
கார்பன்	...	...	6	12
நைட்ரஜன்	...	...	7	14
ஆக்சிஜன்	...	...	8	16
வெள்ளீயம்	...	...	50	118·7
பாதரசம்	...	...	80	200·6

ஐசோடோப்புகள் (Isotopes)

பாதரசம் அல்லது குளோரின் போன்ற எந்த ஒரு மூலப்பொருளின் சுத்தமான ஒரு பகுதியும் ஒரேமாதிரியான அணுக்களைக் கொண்டது என்றும், ஒரேமாதிரியான அணு எடைகளும் அணு எண்களும் உடையது என்றும் கருதப்பட்டு வந்தது. ஒரேமாதிரியான இரசாயனத் தன்மைகளுள்ள மூலப்பொருளின் அணுக்கள் பலதரப்பட்ட வகைகளில் இருக்கமுடியும் என்பதை நாம் அறிவோம். இவைகள் மாறுபட்ட அணு எடைகள் கொண்டதாய் இருப்பதால் ஐசோடோப்புகள் என வேறுபடுத்திக் கூறப்படுகின்றன. ஐசோடோப்புகள் இருக்கின்றன என்று நாம் எடுத்துக்கொண்டால் அணுக்களின் அணு எடைகளானது முழு எண்களுக்கு மிக அருகில் வருவதாகத் தெரியவருகிறது. உதாரணமாகக் குளோரினின் அணு எடையானது 35·5 என்று கொடுக்கப்பட்டுவந்தது. ஹைடிரஜனின் அணுவைவிட 35·5 தடவை பொருண்மை உடைய அணுக்கள் சுத்தமான குளோரின் உடையதாய் இருந்தது என்பதே இதன் பொருளாகும். அது 3 : 1 என்ற விகிதத்தில் 35 அணு எடைகளும், 37 அணு எடைகளும் கொண்ட இரு வெவ்வேறு அணுக்களால் ஆன கலவை என்று ஆஸ்டன் (Aston) என்பவர் கண்டிருக்கிறார். எனவே, இந்த இரண்டு அணுக்களும் சேர்ந்து குளோரின் அணுவின் சராசரி அணு எடையை 35·5 ஆகக் கொடுக்கின்றன. உண்மையிலேயே இதன் இரண்டு ஐசோடோப்புகளின் அணு எடைகளும் முறையே 34·980, 36·978 என்பன ஆகும். இதே முறையில் 200·6 அணு எடை கொண்ட பாதரசம் முறையே 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204 அணு எடைகள் உள்ள ஒன்பது ஐசோடோப்புகளின் கலவையாகும். மற்றும் 118·7, அணு எடை கொண்ட வெள்ளீயம் முறையே 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 124 அணு எடைகள் கொண்ட பதினேர் ஐசோடோப்புகளின் கலவையாகும்.

இப்பொழுது பொருள்களில் மிக எளிதானவைகூட ஐசோடோப்புகளின் கலவை என்று தெரியவருகிறது. ஹைடிரஜன் என்பது 1, 2, 3 அல்லது மிகச் சரியாக 1·0081, 2·0142, 3·016 அணு எடைகள் கொண்ட ஒரு கலவையாகும். மேலும் ஹீலியம் என்பது 3, 4, 5 அல்லது மிகச் சரியாக 3·0172, 4·0034, 5·01 அணு எடைகள் கொண்ட கலவையாகும்.

புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும்

அணுவின் அணு எடையானது ஒரு முழு எண்ணாக இருக்க வேண்டும். ஏனென்றால், அணுவின் வெளி அமைப்பானது முழு எண்ணிக்கையில் எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டிருக்கிறது. அணு எடையைப்பற்றி மேற்சொன்ன உண்மைகள் அணுவின் உள் அமைப்

பானது அதாவது எடையுள்ள அணுக்கருவானது முழு எண்ணிக்கையில் ஒரேமாதிரியான அலகுகள் (units) உடையதாக இருக்க வேண்டும் என்று யூகிக்க இடமளிக்கின்றன. இஃது அப்படியானால் நாம் எடுத்துக்கொள்ளும் அலகானது ஹைடிரஜன் அணுவில் உள்ள அணுக்கருவாகத்தான் இருக்கமுடியும். இதை நாம் புரோட்டான் என்கிறோம். பிறகு அணுக்களின் அணு எடைகள் முழு எண்களாகவே இருக்கும். ஏனென்றால், அணுவின் பொருண்மை உடைய பகுதியானது புரோட்டான்களை முழு எண்ணிக்கையில் உடையதாக இருக்கும்.

ஆனால், இம்மாதிரியான ஊகம் பலவித இன்னல்களைக் கொடுக்கிறது. மற்ற எல்லா அணுக்களைப்போல ஹைடிரஜன் அணுவும் மின் ஏற்றமில்லாமல் இருக்கிறது. அதாவது, அதில் அடங்கிய பொருள்களின் மொத்த மின் ஏற்றம் பூஜ்யமாகும். எலெக்ட்ரான், புரோட்டான் ஆகிய இருபொருள்களே அடங்கியிருப்பதால் எலெக்ட்ரானின் எதிர்மின் ஏற்றத்துக்குச் சமமான அளவில் புரோட்டானது நேர்மின் ஏற்றம் உடையதாய் இருக்கவேண்டும் என்று நாம் காண்கிறோம்.

இது பொதுவான ஹைடிரஜன் அணுவை நன்கு விளக்குகிறது. ஆனால், பொதுவான ஹீலியம் அணுவை விளக்குவதில்லை. ஹீலியம் அணுவின் அணு எண் இரண்டாகும்; அதன் அணு எண் நான்காகும். அதனால் மேற்சொன்ன ஊகத்தின்படி ஹீலிய அணுவின் அணுக்கருவானது நான்கு புரோட்டான்களை உடையதாக இருக்கவேண்டும். மேலும் அந்த அணுக்கருவை இரண்டு எலெக்ட்ரான்களே சுற்றி வருவதால் ஒரு சமநிலையற்ற மின் ஏற்றம் ஏற்படுகிறது. அஃது இரு எலெக்ட்ரான்களின் மின் ஏற்றத்திற்குச் சமமாகும்.

மூலப் பொருள்	அணு எண் (எலெக்ட் ரான்கள் எண் ணிக்கை)	அணு எடை (நியூட் ரான்கள் எண்ணிக்கை)	புரோட் டான்கள் எண் ணிக்கை	நியூட் ரான்கள் எண்ணிக்கை
ஹைடிரஜன்	1	1, 2, 3	1	0, 1, 2
ஹீலியம்	2	3, 4, 5	2	1, 2, 3
கார்பன்	6	12, 13	6	6, 7
நைட்ரஜன்	7	14, 15	7	7, 8
ஆக்சிஜன்	8	16, 17, 18	8	8, 9, 10
வெள்ளீயம்	50	112 முதல் 122; 124	50	62 முதல் 72; 74
பாதரசம்	80	196 முதல் 204	80	116 முதல் 124

எளிய ஹைடிரஜனின் அணுவைத்தவிர மற்ற ஒவ்வோர் அணுவின் அணுக்கருவும் முன்னமே சொல்லப்பட்ட புரோட்டான், மற்றும் நியூட்ரான் (பக்கம் 134) ஆகிய இருவிதமான துகள்களால் ஆனது என்று இப்பொழுது நாம் வர்ணிக்கிறோம். நியூட்ரான், புரோட்டானைப் போலவே எடையுள்ளது. ஆனால், அது நேர் அல்லது எதிர் மின் ஏற்றம் இல்லாமல் இருக்கிறது. ஒவ்வோர் அணுவின் அணுக்கருவும் வெளியிலிருக்கும் எலெக்ட்ரான்களின் எதிர்மின் ஏற்றத்தைச் சக்தி யற்றதாகச் செய்யப் போதுமான அளவு புரோட்டான்களை உடையதாக இருக்கிறது. மேலும், அதன் மீதிப் பொருண்மையை நியூட்ரான்கள் அளிக்கின்றன. இம்மாதிரி, அணுவின் அணு எண்ணானது புரோட்டான் களின் மற்றும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை அளக்கிறது. அணு எடையானது அணு எண்ணைவிட இருமடங்கிருந்தால், அது நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையையும் அளக்கிறது. ஆனால், புரோட் டான்களின் எண்ணிக்கையை நிலையாக வைத்துக்கொண்டு நியூட்ரான் களின் எண்ணிக்கையை மாற்றுவதால் ஐசோடோப்புகள் ஏற்படு கின்றன. எல்லா மூலப்பொருள்களின் மற்றும் இப்பொழுது குறிப் பிட்ட ஐசோடோப்புகளின் சேர்க்கை வீதத்தைக் காட்டும் முன் பக்கத் தில் உள்ள அட்டவணை இதை விளக்குகிறது.

கதிரியக்கம் (Radio activity)

பௌதிக விஞ்ஞானமானது அணுவை அதன் உள் அடங்கிய பொருள்களாகப் பிளக்க முயற்சி செய்துகொண்டிருந்தபோது அணுக் கருக்கள் கூட நிலையற்றவையென்றும் அவைகள் அழிக்கமுடியாதவை அல்ல என்றும் கண்டுபிடித்தது. 1896ஆம் ஆண்டில், பிகுவிரில் (Becquerel) என்பவர் யுரேனியம் என்னும் மூலப்பொருள் கலந்த பொருள்கள் தம் அருகில் இருக்கும் புகைப்படத் தகடுகளை இயற்கையாகவே மாறுதலடையச் செய்கின்றன என்பதைக் கண்டார். அவருடைய இந்த ஆராய்ச்சியானது கதிரியக்கம் என்னும் பொருளின் புதுத் தன்மையைக் கண்டுபிடிக்க வழிகோலியது. கதிரியக்கத்தைப் பற்றி அடுத்த சில வருடங்களில் நடந்த ஆராய்ச்சிகளின் விளைவுகள் (results) எல்லாம் 'சுயநசிவு' (spontaneous disintegration) என்ற அனுமானத்தின்கீழ் (hypothesis) கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. ரூதர்ஃபோர்ட் (Rutherford) மற்றும் சோடி (Soddy) என்பவர்கள் 1903-ல் இதை மேலும் மேன்மைப்படுத்தினார்கள். தற்போது நிலை பெற்றிருக்கும் இந்த அனுமானத்தின்படி கதிரியக்கம் என்பது, கதிரியக்கமுள்ள பொருள்களின் அணுக்களின் அணுக்கருக்கள் தாமாகவே பிளந்துகொள்வதைக் காண்பிக்கிறது. இந்த அணுக்கள் நிலையாகவும், அழிக்கமுடியாமலில்லாமல் இருப்பதாலும் காலம் செல்லச் செல்ல தானாகவே அவைகளின் அணுக்கருக்கள் சிதைந்து துகள்களாகி

விடுகின்றன. எனவே, ஒரு சமயம் யுரேனிய அணுவின் அணுக்கரு வானது போதுமான காலம் சென்றவுடன் காரீயத்தின் (lead) அணுவாக மாறிவிடுகிறது.

இந்தமாதிரியான மாறுதல் மிக வேகமாக நடைபெறுவதில்லை. அவை மெதுவாகத் தனித்தனி படிகளாகவே நடைபெறுகின்றன. அவைகளின் அந்த முறையின்போது α-கதிர்கள், β-கதிர்கள், γ-கதிர்கள் எனப் பெயரிடப்பட்டுள்ள மூன்றுவிதமான பொருள்கள் வெளிப்படுகின்றன.

அந்த மூன்று கதிர்களும், ஒரு குறிப்பிட்ட தடிப்புள்ள (thickness) காற்று, உலோகம் அல்லது வேறு பொருள்களைத் துளைத்துச் செல்லும் சக்தியுள்ளவைகளாக இருப்பதால் முதன்முதலில் அவை வித்தியாசப்படுத்தப்படாமல் கதிர்கள் (rays) என்றே கூறப்பட்டு வந்தன. ஆனல், இவைகளின் உண்மைத்தன்மையைக் கண்டுபிடிக்கும்வரை இம்மாதிரி வித்தியாசப்படுத்தப்படாமலில்லை. உதாரணமாக, காந்தத்தின் (magnet) இரு துருவங்களுக்கும் (poles) இடையே உள்ள வெளியில் காணப்படும் காந்த விசைகள் (magnetic forces), மின் ஏற்றமுள்ள நகரும் துகள்களை (moving particles) நேராகச் செல்லும் தங்கள் பாதையிலிருந்து விலகச் செய்கின்றன. அந்தத் துகளானது அது நேர் அல்லது எதிர்மின் ஏற்றம் உடையதற்குத் தக்கபடி ஒரு திசையில் அல்லது வேறு திசையில் விலகுகிறது. கதிரியக்கம் உள்ள பொருள்களிலிருந்து வெளிப்படும் பலவிதமான கதிர்களை ஒரு சக்திவாய்ந்த காந்தத்தின் இரு துருவங்களுக்கும் இடையே உள்ள வெளியில் பாய்ச்சும்போது α-கதிர்கள் நேர்மின் ஏற்றங்கொண்ட துகள்களாகவும், β-கதிர்கள் எதிர்மின் ஏற்றங்கொண்ட துகள்களாகவும் காணப்பட்டன. மிகச் சக்திவாய்ந்த காந்த விசைகள்கூட γ-கதிர்களைத் தங்கள் பாதையிலிருந்து விலகச்செய்ய முடியாமல்போனதால் γ-கதிர்கள், பொருளின் தூள்களாக இருக்கமுடியாதென்றும், அல்லது அவை அப்படியிருந்தால், அவை மின்ஏற்றமில்லாதவை என்றும் முடிவு செய்யப்பட்டது. இந்த இரு முடிவுகளிலும் முதலில் கூறப்பட்டது உண்மையானது என்று பின்னல் நிரூபிக்கப்பட்டது.

α-துகள்கள் (α-particles)

பொதுவாக, α-கதிர்களில் அடங்கியுள்ள நேர் ஏற்றமுள்ள துகள்கள் α-துகள்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. 1909ஆம் ஆண்டில் ரூதர்ஃபோர்டு மற்றும் ராய்ட்ஸ் (Royds) என்பவர்கள், ஒரு மில்லி மீட்டரில் நூறில் ஒரு பங்கு தடிப்புள்ள ஒரு மெல்லிய கண்ணடிச் சுவர் வழியாக α-கதிர்களை, அவைகள் தப்பிக்கமுடியாதபடி செய்யப்பட்ட, மற்றும் அவைகளுக்கென எலிப்பொறியைப்போன்று அமைக்கப்பட்ட ஓர் அறையில் நுழையவிட்டார்கள். இந்தமுறை வெகுநேரம் நீடிக்கப்

பட்டபிறகு பார்த்தால் அந்த அறையில் α-துகள்கள் சேர்ந்து இருப்பதற்குப் பதிலாக, ஹீலியம் என்ற, ஹைடிரஜனுக்கு அடுத்தபடியாக இருக்கும் எளியவாயு சேர்ந்திருந்தது. இந்த முறையில்தான், நேர் மின் ஏற்றமுள்ள α-துகள்கள் என்பவை, ஹீலியத்தின் அணுக்களின் அணுக்கருவைத்தவிர வேறொன்றுமில்லை என்று தீர்மானிக்கப்பட்டது. அதாவது, நேர் ஏற்றமுள்ள இந்த α-துகள்கள், அந்த அறையின் சுவர்களிலிருந்து எதிர்மின் ஏற்றமுள்ள எலெக்ட்ரான்களைத் தங்களிடம் கவர்ந்துகொண்டு ஹீலியம் அணுக்களாக மாறிவிட்டன. α-துகள்கள் மிக அதிகமான வேகத்தோடு இயங்குகின்றன. அவைகளின் வேகமானது அவைகளை வெளிவிடும் கதிரியக்கப் பொருள்களின் தன்மையைப் பொறுத்துள்ளது. எல்லாத் துகள்களிலும் மிக்க வேகமுடைய, தோரியம் C′ (Thorium C′) வெளியிடும் துகள்கள் விநாடிக்கு 12,800 மைல்கள் வேகத்தோடு இயங்குகின்றன. யுரேனியம் 1 வெளியிடும் மிக மெதுவானது என்று சொல்லப்படும் துகள்கள்கூட விநாடிக்கு 8800 மைல்கள் வேகமுடையனவாகும். இந்த வேகம் காற்றிலுள்ள மாலிகியூல்களின் வேகத்தைவிட 30,000 மடங்கு அதிகமாகும். இந்தமாதிரி வேகத்தோடு நகரும் துகள்கள் சாதாரண மாலிகியூல்களையெல்லாம் தங்கள் வழியிலிருந்து விலக்கித் தள்ளுகின்றன. α-கதிர்கள் அதிக துளைக்கும் சக்தி உடையவை என்பதை இது விளக்குகிறது.

β-துகள்கள் (β-particles)

காந்த சக்திகளினால் β-கதிர்கள் எவ்வளவு தூரம் பாதிக்கப்படுகின்றன என்பதை ஆராய்ந்ததன்மூலம், அவை, எல்லா அணுக்களின் அணுக்கருக்களையும் சூழ்ந்திருக்கும் எதிர்மின் ஏற்றமுள்ள எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டவை என்றும் தெரிய வந்தது. இரண்டு எலெக்ட்ரான்களின் நேர் ஏற்றத்திற்கு ஒப்பான நேர் ஏற்றத்தை α-துகள்கள் எடுத்துச் செல்வதால் அதை வெளித்தள்ளும் ஓர் அணுவானது இரண்டு எலெக்ட்ரான்களின் நேர் ஏற்றத்திற்குச் சமமான நேர் ஏற்றத்தை இழக்கிறது. அதாவது அஃது எதிர்மின் ஏற்றமுள்ளதாகச் செய்யப்படுகிறது. நேர், மற்றும் எதிர்மின் ஏற்றங்கள் சமநிலையில் அணுவில் இருப்பதற்காக, α-துகள்களை வெளித்தள்ளுதலும், எதிர்மின் ஏற்றமுள்ள எலெக்ட்ரான்களை வெளித்தள்ளுதலும், ஒரு α-துகளுக்கு இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள் என்ற விகிதத்தில் மாறிமாறி நடப்பது இயற்கையும், பெரும்பாலும் தவிர்க்க முடியாததுமாகும். β-துகள்களானவை, α-துகள்களைவிட அதிக வேகத்தோடு நகருகின்றன. அவைகளில் பல துகள்களின் வேகம் ஒளியின் வேகத்திற்கு (விநாடிக்கு 186,000 மைல்கள்) கிட்டத்தட்ட சில சதவீதங்களே குறைவானதாகும்.

அணுவின் அணுக்கருவானது புரோட்டான் மற்றும் நியூட்ரான்கள் மட்டும் கொண்டதென்று நாம் விவரித்தோம். எனவே, இந்த எலெக்ட்

ரான்களின் தோற்றம் (origin) பற்றிய கேள்வி எழுகின்றது. ஒரு புரோட்டானையும் ஓர் எலெக்ட்ரானையும் கொண்ட, கூட்டாக உள்ள தனித்துகள் என்று நியூட்ரானைக் கருதுவதே இதன் மிக எளிதான பதிலாகும். கதிரியக்க நசிவில் (radio-active disintegration) ஒரு நியூட்ரானானது, தன் சேர்க்கைத் துகள்களாகப் பிரிந்துவிடலாம். அப்பொழுது எலெக்ட்ரான்கள் தொலைவில் தள்ளப்படுகின்றன ; ஆனால், புரோட்டான்கள்மட்டும் தங்கியிருக்கின்றன.

பௌதிகத்திற்குத் தெரிந்த மிக்க அழகான முறைகளில் ஒன்றானதும், பேராசிரியர் C. T. R. வில்சன் (Professor C. T. R. Wilson) என்பவரின் கண்டுபிடிப்பானது, தங்கள் வழியிலிருக்கும் மாலிகியூல்களோடு மோதிக்கொண்டு, ஒரு வாயுவின் வழியாகச் செல்லும், α, β துகள்களின் இயக்கத்தைக் (motion) கண்காணிக்க உதவுகிறது. இந்தத் துகள்களைப் புகைவைக்கத்தக்க ஓர் அறை நீராவியினால் நிரப்பப்படுகிறது. மின் ஏற்றமுள்ள ஒரு துகளானது தான் செல்லும்போது புகைப்படமெடுக்கக்கூடிய விதத்தில் தன் பின்னால் நீர்ப்பொருளாக்குதலின் சுவடுகளை (trial of condensation) ஏற்படுத்திக்கொண்டு செல்லும் நிலையில் அந்த அறை அமைக்கப்படுகிறது. எப்படி நாம் ஆகாயத்தில் வெகு தூரத்தில் பறக்கும் விமானத்தைப் பார்க்க முடியாவிட்டாலும், அதன் நீர்ப்பொருளாக்குதலின் சுவட்டைப் பார்க்கிறோமோ அதேபோல, α அல்லது β-துகள்களை நாம் பார்க்க முடியாவிட்டாலும், அவைகள் உண்டாக்கும் நீர்ப்பொருளாக்குதலின் சுவட்டை நாம் பார்க்கலாம்.

ஒளிப்படம் XXV-ல் (பக்கம் 132), α மற்றும் β-துகள்களின் சுவடுகள் எல்லாம் ஒரே புகைப்படத் தகட்டில் காணப்படுகின்றன. நான்கு தடித்த கோடுகள் α-துகள்களின் பாதைகளாகும். வளைந்தும், கொஞ்சம் தெளிவில்லாமலும் காணப்படும் கோடுகள் β-துகள்களின் பாதைகளாகும். α-துகள்கள் β-துகள்களைவிட 7400 மடங்கு எடையுள்ளதாக இருப்பதால், இயற்கையாகவே அவை வாயுவில் அதிகக் குழப்பத்தை ஏற்படுத்தி, அதிகத் தெளிவானதும், மற்றும் அகலமானதுமான பாதைகளை ஏற்படுத்துகின்றன. மேலும் அவை ஒரே நேரான பாதையில் செல்கின்றன. ஆனால், இலேசாகவுள்ள β-துகள்கள், தாங்கள் சந்திக்கும் மாலிகியூல்களால் தடுக்கப்பட்டு தங்கள் பாதையிலிருந்து விலக்கப்படுகின்றன. மிக நீளமான α-கதிரின் பாதைகளின் இருபுறங்களிலிருந்தும் வெளிப்படும் குமிழ் போன்ற அதிகமாக வளர்ந்துள்ள பாகங்கள் சுவாரசியமானவை. அவை, α-துகள்கள், தாங்கள் செல்லும்போது அணுக்களிலிருந்து தள்ளிவிட்ட எலெக்ட்ரான்களின் சிறிய பாதைகளைக் குறிக்கின்றன.

γ-கதிர்கள் (γ-rays)

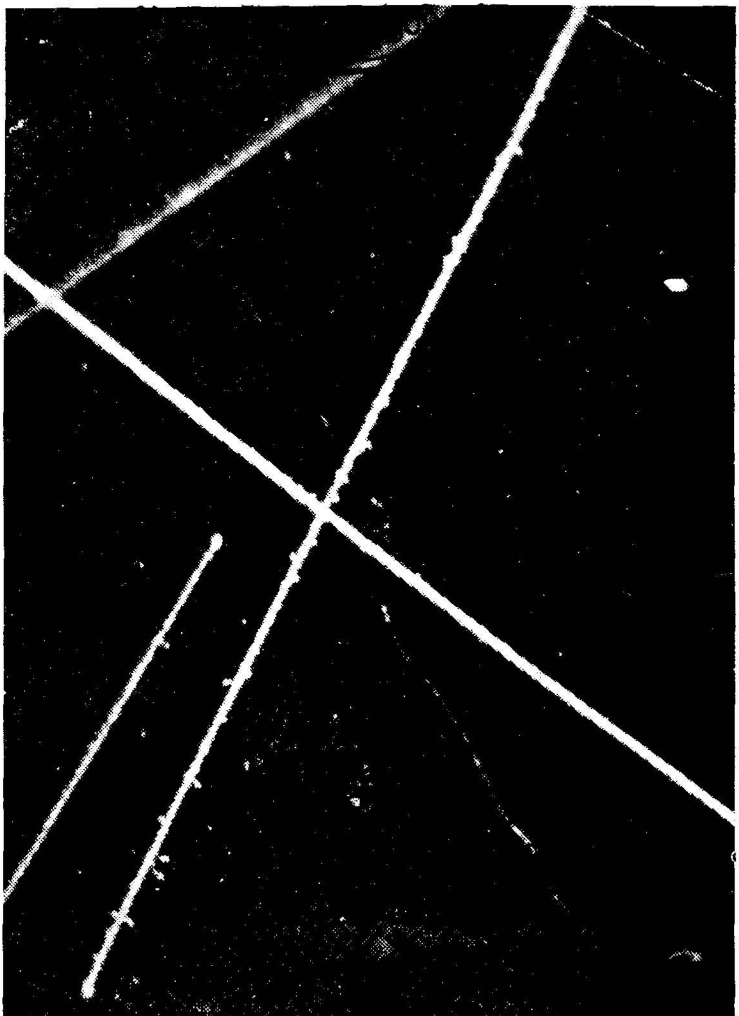
முன்னமே சொன்னமாதிரி, γ-கதிர்கள் உண்மைப் பொருளின் துகள்களே அல்ல. அவை ஒரு தனிவிதமான கதிர்வீச்சே (radiation) என்று தெரியவருகின்றது. இதை நாம் பின்னர் (பக்கம் 142) விவரிப்போம்.

எனவே, கதிரியக்க அணுவைப் பிளத்தல் என்பது ஒரு துப்பாக்கியை எடுத்துச் சுடுவதற்கு ஒப்பாகக் கருதலாம். α-துகள்களே சுடப்படும் குண்டுகளாகும். β-துகள்களே புகையாகும். மற்றும் γ-கதிர்கள் துப்பாக்கி வெடிக்கும்போது உண்டாகும் திடீர்ப் பிரகாசத்திற்கு (flash) ஒப்பாகும். கடைசியில் தங்கிவிடும் காரீயத்தின் அணுவே குண்டில்லாத துப்பாக்கியாகும். முதன்முதலில் இருக்கும் யுரேனியம் மற்றும் அதைப்போன்ற பொருள்களின் கதிரியக்க அணுவானது குண்டுகளுள்ள துப்பாக்கியாகும். இந்தக் கதிரியக்கமுள்ள துப்பாக்கிகளின் தனித்தன்மையாவது (special peculiarity) என்னவென்றால் அவை தாமாகவே மேலும் தங்கள் விருப்பப்படி இயங்குவதேயாகும். அந்தத் துப்பாக்கியின் குதிரையை (trigger) இழுக்க நாம் மேற்கொள்ளும் முயற்சிகள் யாவும் தோல்வியடைந்துவிடுகின்றன, அல்லது அவை முடிவு காண முடியாத விளைவுகளை ஏற்படுத்துகின்றன. அந்தத் துப்பாக்கி தானாகவே சரியான சமயத்தில் சுடுவதை நாம் அறியலாம். ஆனால், அஃது அம்மாதிரிச் செய்ய பல ஆயிரம் மிலியன் வருடங்கள் எடுத்துக்கொண்டாலும், நாம் காத்திருப்பதைத் தவிர வேறொரு வழியில்லை.

அணுக்கருக்கள் (Atomic Nuclei)

முக்கியமற்ற சில விதிவிலக்குகளோடு (exceptions) கதிரியக்கத் தன்மையானது மிகவும் சிக்கலான, பொருண்மை உடைய மற்றும் 83-க்கு மேற்பட்ட அணு எண்களை உடைய அணுக்களில்மட்டுமே உள்ளது. என்றாலும், கனமான கதிரியக்க அணுக்களைப்போல, இலேசான அணுக்கள் இயற்கை நசிவிற்கு உட்படாது இருந்தாலும் செயற்கை முறைகளில் அவற்றின் அணுக்கருக்களைப் பிளக்க முடியும். 1920ஆம் ஆண்டில் ரூதர்ஃபோர்டு கதிரியக்க அணுக்களையே துப்பாக்கிகளாக உபயோகித்து இலேசான அணுக்களின்மேல், α-துகள்களைக் கொண்டு சுட்டு, அந்த ஒரு நேரடித்தாக்குதலே அணுக்களின் அணுக்கருக்களைப் பிளந்தது என்று கண்டறிந்தார்.

முதன்முதலில் செய்யப்பட்ட சோதனைகளில் ஹைட்ரஜனின் அணுக்களின் மேல் α-துகள்கள் சுடப்பட்டுவந்தன. இந்தச் சில எறிபொருள்கள் தங்களுடைய இலக்குகளைத் துளைத்துச் சென்றன. உடனே அந்த இலக்குகளின் ஒன்றுசேர்ந்த அமைப்பானது ஆக்சிஜ



C.T.R. Wilson

α-, β-துகள்களின் பாதைகள்

ஒளிப்படம் XXVI

படம் 1

P.M.S. Blackett

படம் 2

α துகள்கள் நைட்ரஜன் அணுக்களுடன் மோதுதல்

படம் 1-ல் கதிர்கள் நைட்ரஜன் அணுக்களுடன் மோதித் திரும்புகின்றன. படம் 2-ல் ஒரு புரோட்டானைத் துரத்திவிட்டுத் தான் அந்த அணுவுடன் நட்புக் கொள்கிறது.

னின் அணுக்கருவாகவும் (அணு எடை 17 கொண்ட ஒரு ஐசோடோப்பு) ஒரு ஹைட்ரஜனின் அணுக்கருவாகவும் (அல்லது புரோட்டான்) சிதைந்தது. இம்மாதிரியாக மூலப்பொருள்களை ஒன்றிலிருந்து இன்னொன்றாக மாற்றுவது என்பதை மனிதனால் செய்யமுடிந்தது. இரசவாதிகளின் (Alchemists) கனவு நனவாகியது.

இந்த எளிய மாற்றும் முறையானது (transmutation) கனமான கதிரியக்க அணுக்களின் இயற்கை நசிவிற்கும், இலேசான அணுக்களின் செயற்கை நசிவிற்கும் உள்ள முக்கிய வித்தியாசத்தை வெளிப்படுத்தியது. முதலில் சொல்லப்பட்டதில், எப்பொழுதும் இருக்கும் β-கதிர்களையும், γ-கதிர்களையும் தவிர α-துகள்கள்மட்டுமே வெளியேற்றப்பட்டன. இரண்டாவதாகச் சொல்லப்பட்டதில், α-துகள்களுக்குப் பதில் புரோட்டான்கள் வெளியேற்றப்பட்டன.

அணு உலகத்தின் இந்த உணர்ச்சிமிக்க நிகழ்ச்சிகளை முன்னமே சொல்லப்பட்ட பேராசிரியர் ஸி. டி. ஆர். வில்சனின் நீர்ப்பொருளாக்குதல் முறையில் புகைப்படமெடுக்கலாம். பி. எம். எஸ். பிளாக்கெட் (P. M. S. Blackett) என்பவரால் புகைப்படமெடுக்கப்பட்ட XXVI தகடானது நைட்ரஜனின் அணுவோடு ஒரு α-துகளின் இருமோதல்களைக் காண்பிக்கிறது. அதில் காணப்படும் நேர்க்கோடுகளானவை, ஒளிப்படத்தகடு XXV முன்னமே காண்பிக்கப்பட்டதைப் போன்ற, முக்கிய நிகழ்ச்சிகளற்ற, α-துகளின் பாதைகளேயாகும். ஆனால், ஒவ்வொரு புகைப்படத்திலுமுள்ள ஒரு α-துகளின் பாதையானது திடீரென்று பல கிளைகளாகப் பிரிந்து, Y-வடிவமுள்ள முழுப் படமாகத் தெரிகிறது. படம் 1-ல், α-துகளானது நைட்ரஜன் அணுவோடு மோதியதால் அதன் பாதை பல கிளைகளாகப் பிரிகின்றது என்பதில் சந்தேகத்திற்கு இடமில்லை. Y-வடிவத்தின் தண்டானது மோதலுக்கு முன் காணப்படும் α-துகளின் பாதையாகும். மேலே உள்ள இரு கிளைகளானவை, α-துகள் மற்றும் நைட்ரஜன் அணுவின் பாதைகளாகும். இரண்டாவதாகச் சொல்லப்பட்ட நைட்ரஜன் அணுவானது மிக்க அதிகமான வேகத்துடன் தன் வழியிலுள்ள பொருள்களை விலக்கித் தள்ளிக்கொண்டு செல்லுகிறது. தகட்டில் காண்பிக்கப்பட்டபடி, ஒரேசமயத்தில் செங்கோணத்தில் (right angle) உள்ள இரு திசைகளில் புகைப்படங்களெடுத்து, பிளாக்கெட் என்பவர், முழு மோதலையும் மறுபடி அமைத்தார். இந்தப் படத்தை விளக்கிக்கூறப் பொருளியக்கக் கொள்கைக்குத் (dynamical theory) தேவைப்படும் கோணங்களோடு இந்த மேற்படி கோணங்கள் மிகச் சரியாகப் பொருந்தியிருந்தன.

படம் 2-ல் காணப்படும் ஒரு நிகழ்ச்சியின் புகைப்படமானது, வேறு விதமானதாகும். ஏனென்றால், படம் 1-ல் காட்டியபடி Y-வடிவத்தின்

மேற்கிளைகளானவை, α-துகள் மற்றும் நைட்ரஜனின் பாதைகளாக இருக்கவேண்டுமானால், பொருளியக்கக் கொள்கைக்குத் தேவைப்படும் கோணங்கள் படம் 2-ல் காணப்படுவதில்லை என்பதை மிகச்சரியான அளவானது (exact measurement) காட்டுகிறது. இருப்பினும், Y-வடிவத்தின் தண்டானது ஒரு சாதாரண α-துகளின் பாதையாகும். ஆனால் தெளிவற்ற, நீளமான மேற்கிளையானது, α-துகளைவிடச் சற்றுக் குறைந்த பொருண்மை உடைய ஏதோ ஒரு பொருளின், அதாவது அணுக்கருவிலிருந்து வெளித்தள்ளப்பட்ட, α-துகளின் எடையில் கால் பாகம் கொண்ட, ஒரு துகளின் பாதையாகும். அதேசமயம் நீளம் குறைந்தும், தெளிவுள்ளதுமான கிளையானது, தான் பிடித்து வைத்துக் கொண்டிருக்கும் α-துகளோடு சேர்ந்து செல்லும் நைட்ரஜனின் அணுவின் பாதையாகும். பிளாக்கெட் தன் புகைப்படங்களின் விளக்கத்தைத் தந்த மிக்க அழகான முறையை முழுவதுமாக விவரிக்க அதிக இடம் தேவைப்படும். ஆனால், நைட்ரஜன் அணுவின் அணுக்கரு பிரிவதைப் புகைப்படமெடுப்பதில் அவர் வெற்றிகண்டவர் என்பதில் சந்தேகத்திற்கு இடமில்லை.

இதைப்போன்றேயுள்ள ஒரு முறையில்தான் நியூட்ரான் இவ்வுலகில் இருக்கிறது என்பது நிரூபிக்கப்பட்டது. 1931-ல் போதே (Bothe) மற்றும் பெக்கர் (Becker) எனப்படும் இரு ஜெர்மானிய பௌதிகாளர்கள், α-துகள்களைக்கொண்டு பெரிலியம் (berylium) மற்றும் போரான் (boron) எனப்படும் இரு இலேசான மூலப்பொருள்களைத்தாக்கி, ஒரு புது, மற்றும் மிகவும் சக்திவாய்ந்த கதிரியக்கத்தைக் கண்டுபிடித்தனர். இதைத் தொடர்ந்து சாட்விக் (Chadwick) என்பவர் இது புரோட்டானுக்குச் சமமான பொருண்மை உடைய ஆனால் ஏற்றமில்லாத உண்மைப்பொருளின் துகள்களை உடையதாக இருக்கவேண்டும் என்று காண்பித்தார். ஏற்றமுடைய துகள்களைக் கொண்டது இவ்வுலகம் என்ற கருத்தைக்கொண்ட இவ்வுலகத்திற்கு இஃது ஒரு புதுமையாக இருந்தது. ஆனால், நியூட்ரானை, புரோட்டான் மற்றும் எலெக்ட்ரானின் சேர்க்கை என்று கருதலாம் என்பதை நாம் கண்டிருக்கிறோம். எனவே, இந்த விளக்கமானது, உலகம் ஏற்றமுள்ள துகள்களைமட்டுமே கொண்டது என்று சொல்லப்படுவதை உண்மையாக்குகிறது.

அண்டக் கதிரியக்கம் (Cosmic Radiation)

α-துகள்களில் இயற்கையானது தானாகவே அணுவின் அணுக்கருவைத் தூளாக்கும் ஆற்றல் கொண்டுள்ள எறிபொருள்களை வைத்து அதை ஆராயும் பௌதிகாளனுக்கு அதன் ரகசியங்களை வெளியிட்டுள்ளது ஒரு பெரிய அதிர்ஷ்டமாக ஒரு சமயத்தில் கருதப்பட்டு வந்தது. பூமியின் வெளிப்பரப்பை அடிக்கடி தாக்கும் அண்டக் கதிரியக்கத்தில் இன்னும் அதிகமான, துகளாக்கும் ஆற்றலுள்ள எறி

பொருள்களை இயற்கை அளித்துள்ளது என்பது மிக அண்மையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. சுற்றுப்புறம் முழுவதும் இந்தக் கதிரியக்கம் காணப்படுகிறது. நாம் உயரச் செல்லச்செல்ல அதன் சக்தி தீவிர மாவதால், அது முதன்முதலாக வெளியிலிருந்தே வந்திருக்க வேண்டும் என்பது தெளிவாகிறது. இஃது எப்படியும் சூரியனிட மிருந்தோ அல்லது விண்மீன்களிலிருந்தோ வந்திருக்க முடியாது. அப்படி வந்தால், பூமி தான் பெறும் கதிரியக்கத்தில் பெரும்பாகத்தைச் சூரியனிடமிருந்துதான் பெறும். எனவே, அஃது இரவைவிடப் பகலில் அதிகத் தீவிரமாக இருக்கும். ஆனால், இஃது இம்மாதிரி இல்லாமலிருப்ப தால் கதிரியக்கமானது பொதுவாக வெகுதூரத்திலுள்ள நெபுலாக்கள் அல்லது விண்மீன்களைத் தவிர்த்து மற்ற அண்டப் பொருண்மைகளி லிருந்து (cosmic masses) தோன்றுவதாகக் கருதப்படுகிறது. எனவே, இஃது அண்டக் கதிரியக்கம் என அழைக்கப்படுகிறது.

இந்தக் கதிரியக்கத்தின் அளவானது மிக அதிகமாகும். அது மிகக்குறைந்த தீவிரமாயுள்ள கடல்மட்டத்திலுங்கூட ஒவ்வொரு விநாடி யும் ஒவ்வொரு கன அங்குலத்திலுள்ள காற்றின் பத்து அணுக்களைப் பிளக்கிறது. ஒவ்வொரு விநாடியும் பல மிலியன்கள் கணக்கில் நம் ஒவ்வொரு உடலின் அணுக்களையும் இது விளக்கவேண்டும். ஆனால், அதனால் உண்டாகும் சரீரசம்பந்தமான விளைவுகள் யாவை என்பதை நாம் அறியோம். நாம் பூமியில் பெறும் கதிரியக்கத்தின் மொத்த சக்தி யானது, நாம் எல்லா விண்மீன்களிலிருந்தும் பெறும் மொத்தக் கதிரியக்கம், ஒளி மற்றும் வெப்பத்திற்குக் கிட்டத்தட்ட ஈடாகும் என்று ரிகினர் (Regener) என்பவர் கணக்கிட்டிருக்கிறார். இருந்தாலும், அண்டக் குடும்பத்திற்குள் (galactic system) நாம் இருக்கும் இட மானது நமக்கு விண்மீன்களின் ஒளி மற்றும் வெப்பத்தின் பெரும் பகுதியை வானவெளியின் பெரும்பாலான பகுதிகள் பெறுவதைக் காட்டிலும் அதிகமாகக் கிடைக்க வழி செய்கிறது. இது மொத்த அளவில் அண்டக் கதிரியக்கத்திற்குச் சற்றுதான் அதிகமாக உள்ளது. விண்மீன்களின் இடையேயுள்ள பரப்பையும் மற்ற முழு வானவெளி யோடு சேர்த்துக்கொண்டு சராசரியைக் கணக்கிட்டால், விண்மீன்களின் ஒளி மற்றும் வெப்பத்தைக்காட்டிலும் அண்டக் கதிரியக்கமானது மிக அதிகமாக இருக்கலாம் என்று தோன்றுகிறது. எனவே, இதுதான் அண்டத்தின் முழுப்பகுதியிலுள்ள கதிரியக்கத்தின், அதிகமாகக் காணப்படும் தோற்றமாகும் (form of radiation).

மேலும், இஃது இதுவரை தெரிந்த கதிரியக்கத்திலேயே மிக அதிகமாகத் துளைத்துக்கொண்டு செல்லத்தக்க கதிரியக்கமாகும். சாதாரணமாக ஒளியானது, உலோகங்கள் மற்றும் திடப்பொருள் களினுள் புகுந்து செல்லாது. மிக மெல்லியதாய் உள்ள தங்கத்தகட்டின் வழியாக ஒளியின் ஒரு மிகச்சிறிய பாகமே வெளிவருகிறது. X-கதி

ரியக்கமானது இதைவிட அதிகத் துளைக்கும் சக்தியுள்ளது. ஆனால், இதுவும் ஒரு சில மில்லி மீட்டர்கள் தடிப்புள்ள காரீயத்தினுள்ளேதான் செல்லும். மிக அதிகத் துளைக்கும் சக்தியுள்ள ரேடியம் B-யிலிருந்து கிடைக்கும் γ-கதிர்கள் சில அங்குலங்கள் தடிப்புள்ள காரீயத்தினுள்ளே புகுந்து செல்லும். நாம் இப்பொழுது விவாதத்திற்கு எடுத்துக் கொண்டிருக்கும் கதிரியக்கமானது துளைக்கும் சக்தியில் மாறுபடுகிறது. மிக அதிகமாகத் துளைக்கும் சக்தியுள்ள கதிரியக்கமானது பல கஜங்கள் தடிப்புள்ள காரீயத்தினுள்ளே புகுந்து செல்லும்.

இது மிகவும் துளைக்கும் சக்தியுள்ளதாக இருப்பதால் இந்தக் கதிரியக்கமானது அடர்த்தி அதிகமில்லாத விண்மீன்களுக்கு இடை வெளியிலுள்ள பொருள்களை மிகச்சுலபமாகக் கடந்து செல்ல வேண்டும். சுயேச்சையாக வெளியில் விடப்பட்டவுடன் அதைப் பெரும்பாலும் அழிக்க முடியாததாகக் கருதப்படும் அளவுக்கு அது மேற்கூறிய பொருள்களைச் சுலபமாகக் கடந்து செல்லவேண்டும். ஏனென்றால், நாம் முன்னரே பார்த்தபடி, வானவெளியிலுள்ள பொருள்களின் அளவோடு விண்மீன்கள் மற்றும் நெபுலாக்களின் பொருண்மைகளையும் சேர்த்துக்கொண்டாலும் இது வானவெளியின் சராசரி அடர்த்தி சுமாராக ஒரு கன சென்டிமீட்டருக்கு 10^{-28} கிராம்கள்தான் இருக்கப் போதுமானதாகும். ஒரு சென்டிமீட்டர் கன அளவுள்ள தண்ணீரின் அடுக்கிலுள்ள (layer) பொருளைச் சந்திப்பதற்கு முன்னால், இந்தக் கதிரியக்கமானது சராசரியாக 10^{28} சென்டிமீட்டர்கள் நீளமுள்ள பாதையைக் கடக்கவேண்டுமென்பதே இதன் பொருளாகும்.

ஒளியின் வேகத்தோடு செல்லும் கதிரியக்கத்திற்கு இந்த அளவு நீளமுள்ள பாதையைக் கடந்துசெல்லப் பத்தாயிரம் மிலியன் வருடங்களாகும். 'கார்ப்பஸல்கள்' (corpuscles) அல்லது மின் ஏற்றமுள்ள துகள்கள் ஒளியைவிடக் குறைவான வேகத்தோடு செல்ல வேண்டியிருப்பதால் அவைகளுக்கு இன்னும் அதிக காலம் வேண்டியிருக்கும். இந்த நேரத்திற்குள் கதிரியக்கத்தில் உண்டாகும் குறைவானது, அது ஒரு சென்டிமீட்டர் தடிப்புள்ள தண்ணீரில் புகுந்து செல்வதனாலேயே ஏற்படுவதாகும். எனவே, அது மிகவும் குறைவானதாகும். தன் பலத்தில் சிறிதளவு குறைவதற்குக் கதிரியக்கமானது பல மிலியன் மிலியன் வருடங்கள் பிரயாணம் செய்யவேண்டும். நாம் பின்னால் நிர்ணயிக்கப்போகும் அண்டத்தின் வயதை மனத்தில் வைத்துக்கொண்டு நோக்கினால் கதிரியக்கமானது உண்மையிலேயே அழிக்கமுடியாததாகும் என்பதே இதன் பொருளாகும். காலம் தோன்றியபோது உண்டாக்கப்பட்டவைகள் எல்லாம் இன்னும் வான வெளியைச் சுற்றிச்சுற்றி வருகின்றன. எப்பொழுது அல்லது எங்கே கதிரியக்கமானது உண்டாக்கப்பட்டது என்பதைவிட எப்படி உண்டாக்கப்பட்டது என்பதே பயனுள்ள முக்கியமான கேள்வியாகும்.

ஒரு காந்த வயலில் (magnetic field) கதிரியக்கமானது வளைந்துள்ளதா இல்லையா என்பதை ஆராய்ந்து அது γ-கதிரியக்கத்தைச் சேர்ந்த ஒருவிதமான கதிரியக்கமா அல்லது அது துகள்கள் அல்லது கார்ப்பஸல்கள் கொண்டதா என்பதைச் சோதனை செய்வது சுலபமாகத் தோன்றலாம். ஆனால், உண்மையிலேயே இந்தப் பிரச்சினையானது மிகச் சிக்கலானது. கதிரியக்கம் எந்த மாலிகியூல்களின்மேல் விழுந்தாலும் அதைத் துகளாக்கும் சக்தி உடையதாக இருப்பதே அதன் ஒரு நிச்சயமான மற்றும் வெளிப்படையாகத் தெரியும் தன்மையாகும். இந்தமாதிரி துகளான மாலிகியூல்களின் சிறுசிறு பகுதிகளானவை, இந்தக் கதிரியக்கத்தின் பாதையிலேயே செல்லுகின்றன. எனவே, பூமியின் மேற்பரப்பைக் கதிரியக்கம் நெருங்கும்போது, அது பலவிதமான துகள்களின் கலவை மற்றும் பலவிதமான அலைநீளமுள்ள அலைகளையும் கொண்டதாகக் காணப்படலாம். இஃது உண்மையே என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது.

இஃது இம்மாதிரி இருப்பதனால், முதலில் தோன்றிய கதிரியக்கத்தின் தன்மையைச் சோதனை செய்ய ஒரே ஒரு காந்த வயல்தான் உபயோகப்படுத்தக்கூடியதாய் உள்ளது. இதுதான், கதிரியக்கமானது பூமியின் வளிமண்டலத்தை (atmosphere) அடைவதற்கும், தானே உண்டாக்கிய அணுக்களின் சிறுசிறு பகுதிகளோடு (débris) கலந்துவிடுவதற்கும் முன்னால் கடக்கவேண்டிய பூமியின் காந்த வயலாகும். கதிரியக்கமானது பூமியின் மேற்பரப்பின் பல பகுதிகளைப் பலவிதமான சக்திகளோடு அடைகிறது என்பதை அண்டக் கதிரியக்கத்தின் தீவிரத்தை (intensity) அளக்கும் அளவுகள் காண்பிக்கின்றன. இதிலிருந்து பூமியின் காந்த வயலால் கதிரியக்கமானது வளைக்கப்பட்டிருக்கிறது என்றும், எனவே அதன் சிறு பகுதியாவது மின்சக்தியுள்ள (electrified) துகள்களால் ஆனது என்றும் அனுமானிக்கலாம். மில்லிகன் (Millikan) மற்றும் நேகர் (Neher) என்பவர்கள் அண்மையில் பூமியின் வளிமண்டலத்தைக் கடந்து செல்லும் அண்டக் கதிரியக்கத்தின் 60 சதவிகிதத்திற்கும் மேலான சக்தியை மின் ஏற்றமுள்ள துகள்கள் எடுத்துச் செல்கின்றன என்பதைக் கண்டார்கள். ஒவ்வொரு துகளும், ஓர் எலெக்ட்ரானை ஆயிரம் மிலியன் வோல்ட்டுகள் (volts) குறைவதற்கு வேண்டிய சக்தியைப்போல் இரண்டிலிருந்து பதினைந்து மடங்குவரை உள்ள சக்தியை எடுத்து செல்லுகிறது என்றும் கண்டார்கள். எனவே, உள்ளே வரும் ஒவ்வொரு துகளின் இயக்க சக்தியானது கிட்டத்தட்ட ஒளியின் வேகத்தோடு நகரும் ஒரு முழு அணுவின் சக்தியோடு ஒப்பிடும்படியாக உள்ளது. எனவே, கதிரியக்கமானது முன்பே சொன்னபடி அதிகத் துளைக்கும் சக்தியைக் காண்பிக்கிறது அல்லது! அது கிட்டத்தட்ட அழிக்க முடியாததாக இருக்கிறது என்பதில் கொஞ்சமும் ஆச்சரியமில்லை.

பாஸிட்ரான் (Positron)

கதிரியக்கம் அணுவின் அணுக்கருக்களோடு மோதுவதால் உண்டாகும் அணுவின் சிறுசிறு பகுதிகளின் இயற்கைத் தன்மையை (nature of the débris) சோதனைசெய்ய ஆராய்ச்சிசாலையில் உண்டாக்கப்படும் காந்த வயல்களை உபயோகிக்கலாம். 1932ஆம் ஆண்டில் சி. டி. ஆண்டர்சன் (C. D. Anderson) என்பவர் இந்த முறையில், மேற்சொன்ன சிறு சிறு பகுதிகளானவை, தங்களின் மற்றப் பொருள்களோடு புரோட்டானுக்குச் சமமான நேர் ஏற்றமுள்ள, ஆனால் கிட்டத்தட்ட எலெக்ட்ரானின் பொருண்மைக்குச் சமமான அல்லது அதனுடன் ஒப்பிடக்கூடிய பொருண்மையுடைய துகள்களை உடையதா யிருக்கின்றன என்று காட்டினர். இந்தத் துகள்களை நேர் ஏற்றமுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் என்று சரியாக விவரிக்கலாம். இவைகள் பாஸிட்ரான் கள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன. இவைகள் அணுவின் அணுக்கருக் களிலிருந்து வெளிவருவதாக நம்பப்படுவதால் அவை அணுக்கருக் களின் சாதாரணப் பகுதிப்பொருள்களாக (constituents) இருக்க வேண்டுமெனக் கருதுவது சரியென்றே தோன்றுகிறது. ஆண்டர்சன் என்பவர், புரோட்டான் என்பது அடிப்படையில் கண்ணுக்குத் தெரியாத துகளாக இல்லாமலிருக்கலாம். ஆனால், அஃது ஒரு பாஸிட்ரானையும் ஒரு நியூட்ரானையும் சேர்க்கையாய்க் (combination) கொண்டுள்ள ஓர் அமைப்பாக இருக்கலாம் என்று தெரிவித்தார்.

ஆனால் அணுக்கருக்களின், அண்டக் கதிரியக்கத்தால் நொறுக்கப் பட்ட சிறுசிறு பகுதிகளானவை எலெக்ட்ரான்கள் மற்றும் பாஸிட்ரான் கள் கொண்டதாகக் காணப்படுகின்றன. அந்த எலெக்ட்ரான்கள் பார்க்கமுடிந்தவரை, பாஸிட்ரான்களைப்போலவே அதே அணுக்களின் அணுக்கருக்களிலிருந்து வெளிவருகின்றன. அணுவின் அணுக்கருக் களின் நசிவு, மற்றும் தாக்குதல் முதலிய முறைகளின் விளைவாக எலெக்ட்ரான்களும் பாஸிட்ரான்களும் இணையாக உண்டாகியிருக்கலாம் என்று பிளாக்கெட் (Blackett) மற்றும் ஒஷியாலினி (Occhialini) என்பவர்கள் தெரிவிக்க இது வழிகோலியது.

பாஸிட்ரான் ஒரு நிலையற்ற (temporary) வாழ்வே உடையதா யிருக்கிறது என்பது அநேகமாய் நிச்சயமாகத் தெரிகிறது. பாஸிட் ரான்கள் பொருள்களோடு (matters) சாதாரண நிபந்தனைகளுடன் (conditions) சேரும் என்று தெரியவில்லை. தான் பிறந்த உடனேயே, எதிர் ஏற்றமுள்ள எலெக்ட்ரான்களோடுகூடி அவை தங்கள் வாழ்வி லிருந்து மறைந்துவிடலாம் என்று தோன்றுகிறது. எப்படி, ஒன்று நேர் ஏற்றமுள்ளதும் மற்றொன்று எதிர் ஏற்றமுள்ளதுமான ஒரு ஜதை எலெக்ட்ரான்கள், சக்தியைத்தவிர மற்றெதிலிருந்தும் உண்டாக முடி யாதோ அதேபோல் அவை ஒன்று இன்னொன்றின் கைகளில் இறந்து படும்போது, சக்தியைத்தவிர மற்றொன்றையும் விட்டுச்செல்லமுடியாது.

பாஸிட்ரான்கள் இருப்பதைக் (exist) கவனிப்பதற்கும் அல்லது சோதனைகள்மூலம் அவை இருப்பதைச் சந்தேகிப்பதற்கும் முன்னமே கேம்பிரிட்ஜின் பேராசிரியர் டிராக் (Dirac) என்பவர் பாஸிட்ரான்களின் இருத்தலை (existence) மட்டுமன்றி அவைகள் எந்தவிதத்தில் நடந்து கொள்ளவேண்டும் என்பதை வருமுன் அறிவிக்கும் ஒரு கணிதக் கொள்கையை வெளியிட்டார். டிராக்கின் கொள்கை இங்கே விளக்க முடியாத அளவுக்கு மிகவும் புரியாத வகையில் கணிதமயமாய் இருக்கிறது. ஆனால் அது, பாஸிட்ரான்களின் ஒரு கூட்டமானது கதிரியக்கப் பொருள்களின் நசிவு விதியை அனுசரித்து, எதிரான எலெக்ட்ரான்களோடு தானாகவே சேர்ந்து படிப்படியாக மறைந்துகொண்டே போக வேண்டும் என்று முன்கூட்டி அறிவிக்கிறது. மற்றும் ஒரு பாஸிட்ரானின் சராசரி வாழ்வானது ஒரு விநாடியின் பல மிலியன்களில் ஒரு பாகமே என்று கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது. ஏன் பாஸிட்ரான் புகைப் படமெடுக்கும்வரை நீர்ப்பொருளாக்கும் அறையில் (condensation chamber) சிறிது நேரம் வாழமுடிகிறது என்பதையும், ஆனால், அஃது அண்டத்தின் மற்ற இடங்களில் தான் இருத்தலை அதிக நேரம் காண்பிக்கமுடிவதில்லை என்பதையும் இது நன்றாய் விளக்குகிறது.

மேசான் (Meson)

அண்டக் கதிரியக்கத்தின் ஆராய்ச்சியானது மேசான் அல்லது சில சமயங்களில் கனமான எலெக்ட்ரான் என்று அழைக்கப்படும் இன்னொரு விதமான துகளைக் கண்டுபிடித்திருக்கிறது. அண்டக் கதிரியக்கமானது பொருளைத் தாக்கும்போது அது பின்னால் விட்டுச்செல்லும் அணுவின் சிறுசிறு பகுதிகளில் இது காணப்படுகிறது. இஃது எலெக்ட்ரானைப் போலவே ஏற்றமுள்ளது. ஆனால், இதன் பொருண்மையானது எலெக்ட்ரான் மற்றும் புரோட்டான்களின் பொருண்மைகளுக்கு இடையிலுள்ளது. அண்டக் கதிரியக்கத்தின் சில தன்மைகளால், முக்கியமாக அதன் அதிகத் துளைக்கும் சக்தியால், இதன் இருத்தலானது அவசியமாகிறது. ஆனால், இதன் தன்மைகளைப்பற்றி மிகக் கொஞ்சமே நமக்குத் தெரியும். பலவிதமான நிர்ணயங்கள், இதன் பொருண்மையை, எலெக்ட்ரான்களைவிட 40 முதல் 500 மடங்குவரை உள்ள மதிப்புகளைக் கொடுக்கின்றன. ஒருவேளை 120 எலெக்ட்ரான்களின் பொருண்மை கொண்ட ஒரு பொருண்மையானது அநேகமாய்ச் சரியாக இருக்கும் எனத் தோன்றுகிறது. ஆனால், மேசானானது எப்பொழுதும் ஒரே பொருண்மைகொண்டது என்பதுகூட நிச்சயமில்லாமல் இருக்கிறது. இது கதிரியக்க முறையைப்போல இயற்கை நசிவுக்கு (spontaneous decay) உட்படலாம் என்பதற்கும், இதன் சாதாரண வாழ்வானது ஒரு விநாடியின் பல மிலியன்களின் ஒரு பாகமே என்பதற்கும் சிறிது சாட்சியம் (evidence) இருக்கிறது. அப்படியானால் மேசான்கள்,

முதலாவது அண்டக் கதிரியக்கத்தின் பகுதிப்பொருளாய் உண்டாகாமல், முதலாவது கதிரியக்கமானது, பூமியின் வளிமண்டலத்தில் வந்து சிக்கியபிறகு இரண்டாவதாக உண்டாகும் துணைப்பொருள்களாகத் தோன்றவேண்டும்.

மேலும் நேர் மற்றும் எதிர்மின் ஏற்றமுள்ள மேசான்கள் இருக்கின்றன என்பதற்கும், ஒரு சுயேச்சையான புரோட்டானனது ஒரு நியூட்ராணுகவும், ஒரு நேர்மின் ஏற்றமுள்ள மேசாணுகவும் பிரியலாம் என்பதற்கும் சிறிது சாட்சியம் இருக்கிறது. ஓர் எதிரான மேசாணனது ஒரு சாதாரண எலெக்ட்ராணுகவும், நியூட்ரிஞே (neutrino) எனப் படும், மேலும் ஒரு புதியவிதமான துகளாகவும் பிரியலாம் என்றும் யூகிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்த, மற்றும் இதர யூகங்கள், நம்முடைய இப்பொழுதைய சர்ச்சைக்கு அவ்வளவு முக்கியமானவையல்ல.

கதிரியக்கம் (Radiation)

இதுவரை நாம் பொருளின் உண்மையான பகுதிப்பொருள்களைப் பற்றியே விவாதித்து, அணுவை, நாம் முன்னமே விவரித்த எலெக்ட்ரான்கள், புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள், பாஸிட்ரான்கள் ஆகியவைகளில் சில அல்லது அவைகள் எல்லாவற்றினுலும் செய்யப்பட்டது என்று சொன்ஞேம். ஆனல், இது முழுவதாகச் சொல்லப்பட்ட கதையன்று. அப்படி முழுவதும் சொல்லப்பட்டிருப்பின், ஒவ்வோர் அணுவும் மொத்த மின் ஏற்றத்தை ஒன்றுமில்லாமல் செய்வதற்கு எலெக்ட்ரான்கள், பாஸிட்ரான்கள் ஆகியவைகளோடு போதுமான அளவில் சேர்க்கப்பட்டுள்ள புரோட்டான்கள் மற்றும் நியூட்ரான்களைக் கொண்டதாயிருக்கும். எனவே, எலெக்ட்ரான்களின் மற்றும் பாஸிட்ரான்களின் அற்பமான எடையைத் தவிர, ஒவ்வோர் அணுவின் எடையும் ஹைடிரஜன் அணுவின் எடையில் சரியான பெருக்குத் தொகையில் இருக்கும். இஃது இம்மாதிரியில்லை என்று சோதனை காண்பிக்கிறது.

மின்காந்த சக்தி (Electromagnetic energy)

முழு உண்மையையும் நாம் தெரிந்துகொள்ளவேண்டுமானல் அணுவில், எலெக்ட்ரான்கள், புரோட்டான்கள் மற்றும் அதில் இருக்கக் கூடிய நியூட்ரான்கள், பாஸிட்ரான்கள் முதலியவைகளோடு மின்காந்த சக்தி என்னும் ஒரு பொருளும் அதனுள் இருப்பதாக நாம் எடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். இதை நாம், விஞ்ஞானப் பிழையின்மைக்கு (scientific accuracy) இது சற்றுப் புறம்பாக இருந்தாலும், அடைத்து வைக்கப்பட்டுள்ள கதிரியக்கம் (bottled radiation) என்று கருதலாம்.

ஒரு குச்சியினல் குட்டையின் மேற்பரப்பைத் துழாவினல், குச்சியிலிருந்து தொடர்ச்சியான சிற்றலைகள் (ripples) கிளம்பி, குட்டையின்

பரப்பு முழுவதும், எப்பொழுதும் பெரிதாகிக்கொண்டிருக்கும் தொடர்ச்சியான வட்டங்களாகச் செல்லுகின்றன. தண்ணீரானது, குச்சியின் அசைவை எதிர்ப்பதால், குட்டையைக் குழப்பிய நிலையில் வைத்திருக்க நாம் வேலை செய்யவேண்டும். இந்த வேலையினால் உண்டாகும் சக்தி சிற்றலைகளின் சக்தியாக மாறுகிறது. இந்தச் சிற்றலைகள், பூமியின் புவிஈர்ப்புச் சக்தியில் ஒரு சிறு பாகமாவது ஈர்த்தலை மீறி, ஒரு மிதக்கும் கார்க்கையோ அல்லது ஒரு பொம்மைப் படகையோ மேலே எழும்ப வைப்பதனால், அந்தச் சிற்றலைகள் தங்களுடன் சக்தியை எடுத்துச் செல்லுகின்றன என்பதை நாம் அறிகிறோம். எனவே, இச் சிற்றலைகள், நகரும் குச்சியின்மூலமாக நாம் குட்டைக்குள் செலுத்தும் சக்தியை, குட்டையின் மேற்பரப்பின்மேல் பகிர்ந்துவிடுவதற்கு ஒரு சாதனத்தை உண்டாக்குகின்றன.

ஒளியும் கதிரியக்கத்தின் மற்ற எல்லாவிதமான தோற்றங்களும் நடுவிலிருக்கும் ஓர் உற்பத்தி ஸ்தானத்தின்மூலமாகச் சக்தியைப் பகிர்ந்தளிப்பதால் அவை தண்ணீரின் சிற்றலைகள் அல்லது அலைகளை ஒத்திருக்கின்றன. சூரியனின் கதிரியக்கமானது, தன்னுள் உற்பத்தியாகும் சக்தியின் பெரும்பாலான பகுதியை வானவெளிக்குப் பகிர்ந்தளிக்கிறது.

அண்டத்தின் உண்மைத் தன்மையை நாம் கண்டறிய முடியாது என்பதை நாம் முன்னமே கண்டோம். அதன் சில, அல்லது பகுதிகளின் சில அல்லது எல்லாத் தன்மைகளையும் நமக்கு நாமே விளக்கும் வகையில் மாதிரிகளையும் படங்களையும் வரைந்துகொள்வதே நாம் செய்யக்கூடிய செயலாகும். நாம் இப்பொழுது எடுத்துக்கொண்டிருக்கும் ஒளியின் தன்மைகளை விளக்கும் வகையில் நாம் வரையும் சிறந்த படமானது, தொடர்தலான அலைகளைக் (succession of waves) கொண்டுள்ளது. ஒளியும், கதிரியக்கத்தின் மற்ற விதங்களையும் தொடர்தலான அலைகளின் தன்மைகளைக்கொண்ட நிலையில் பரவச் செய்யப்படுகின்றன.

எப்படி, சூரிய ஒளியில் கலந்திருக்கும் ஒளியின் பலவிதமான நிறங்களை, அதை ஒரு பட்டகத்தின் (prism) வழியாகப் புகச்செய்து பல நிறங்களாகப் பிரிக்கலாம், அதாவது, வானவில் அல்லது நிறங்களின் நிறமாலையை (spectrum) உண்டாகச் செய்யலாம் என்பதை நாம் கண்டிருக்கிறோம். இதில், தன் மேற்பரப்பில் ஒழுங்காகக் கீறப்பட்ட அதிக எண்ணிக்கையில் இணைகோடுகளைக் கொண்டுள்ள ஓர் உலோகக் கண்ணாடிமட்டும் உள்ளது. இந்தப் பின்னால் சொன்ன கருவி எப்படி வேலை செய்கிறது என்பது நன்றாகத் தெரிந்ததேயாகும். இந்தக் கருவி, உண்மையில் ஒளியானது மாறுபட்ட அலைநீளங்களைக்

கொண்ட அலைகளாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளது என்பதைக் காட்டுகிறது.[1] அதேசமயம் அஃது ஒளியின் மாறுபட்ட நிறங்களுக்கு உள்ள அலைகளின் நீளங்களை அளப்பதற்கு உதவுகிறது.

இவைகள் மிகவும் சிறியதாகவே காணப்படுகின்றன. நாம் பார்க்கக் கூடியதானதும், மிக அதிகமான அலைநீளமுள்ளதுமான மிகச் சிவந்த ஒளியானது $\frac{3}{100,000}$ அங்குலம்தான் (அதாவது $7{\cdot}5\times10^{-5}$ செ.மீ.) நீளமுள்ளதாக இருக்கிறது. நாம் பார்க்கும் மிகவும் ஊதா நிறமுள்ள ஒளியானது இதில் பாதி அதாவது 0·000015 அங்குலமே அலைநீள முள்ளதாக இருக்கிறது. எல்லா நிறங்களின் ஒளியும் ஒரே சீரான, அதாவது விநாடிக்கு 186,000 மைல்கள் அல்லது 3×10^{10} செ.மீ. வேகத் துடனேயே பிரயாணம் செய்கின்றன. ஒரு விநாடியில் ஒரு நிலையான புள்ளியைக் (fixed point) கடந்து செல்லும் சிவப்பு நிறத்தின் அலை களின் எண்ணிக்கை நான்கு நூறு மில்லியன் மில்லியனுக்குக் குறைவில்லாம லிருக்கின்றன. இந்த எண்ணிக்கையே அவ்வொளியின் அலைவெண் (frequency) எனப்படும். ஊதா ஒளியானது இதைவிட அதிகமான, அதாவது எட்டு நூறு மில்லியன் மில்லியன் என்ற அலைவெண் கொண்ட தாக இருக்கிறது. நாம் ஓர் ஊதா நிறமுள்ள பொருளைப் பார்க்கும் போது, எட்டு நூறு மில்லியன் மில்லியன் ஒளி அலைகள் ஒரு விநாடியில் நம் கண்களுக்குள் நுழைந்து செல்லுகின்றன.

சூரிய ஒளியின் பகுக்கப்பட்ட (analysed) நிறமாலையானது நம் கண்ணுக்கு, ஒரு முனையில் சிகப்பு ஒளியிலிருந்து ஆரம்பித்து மறு முனையில் ஊதா ஒளிவரை பரவி உள்ளதாகத் தெரிகிறது. ஆனால், இவைகள் அதன் உண்மையான எல்லைகள் அல்ல. நாம் பார்க்கும் நிற மாலையில் காணப்படும் ஊதா ஒளியின் முனைக்கு அப்பால் சில இரசாயன உப்புகளை வைத்தால் அவை தெளிவாகப் பிரகாசிக்கின்றன. எனவே, இங்கேகூட சக்தியானது கண்ணுக்குத் தெரியாத உருவத்தில் அனுப்பப்படுகிறது என்று தெரிகிறது. இது நிறமாலையிலுள்ள சிவப்பு நிறத்தின் முனையிலும் உண்மையாக இருக்கிறது என்பதை வேறுசில முறைகள் காண்பிக்கின்றன. இங்கே வைக்கப்படும் ஒரு வெப்ப மானியோ அல்லது வெப்பத்தை அளக்கும் எந்த ஒரு கருவியோ, சக்தி யானது வெப்ப உருவில் இந்த இடத்தில் வருகிறது என்பதைக் காண்பிக்கிறது.

இந்தமாதிரி நாம் பார்க்கும் நிறமாலையின் இரு முனைகளுக்கு அப்பாலும் கதிரியக்கமுள்ள கண்ணுக்குப் புலப்படாத இடங்கள் பரவி

[1] ஒரு சிற்றலைக் குடும்பத்தின் அலை நீளமானது ஒரு சிற்றலையின் முகட்டுக்கும் (crest) அடுத்துள்ளதின் முகட்டுக்கும் இடையிலுள்ள தூரமாகும். இந்தப் பதத்தை அலையின் தன்மைகளை உடைய எல்லா நிகழ்ச்சிகளிலும் உபயோகிக்கலாம்.

இருக்கின்றன என்பதை நாம் அறிகிறோம். சிவப்பு முனையிலிருந்து ஆரம்பித்துக் கம்பியில்லாமல் அனுப்புதல் முறையில் (wireless transmission) உபயோகிக்கப்படும், நூறு அல்லது பல ஆயிரம் கஜங்கள் கூட அலைநீளமுள்ள அலைகள்வரை நாம் தொடர்ச்சியாகச் செல்லலாம். ஊதா முனையிலிருந்து ஆரம்பித்துப் புற ஊதாக் கதிரியக்கத்தின் (ultra-violet radiation) பலவிதங்களின் சிறிய மற்றும் மிகச்சிறிய அலைநீளங்கள்வரை நாம் செல்லலாம். நாம் பார்க்கும் ஒளியின் அலைநீளத்தில் நூற்றில் ஒரு பங்கிலிருந்து ஆயிரத்தில் ஒரு பங்குவரை அலைநீளமுள்ள X-கதிர்கள் (X-rays) நம் உடலின் சதையில் பல அங்குலங்கள்வரை துளைத்துக்கொண்டு சென்று, உள்ளேயிருக்கும் எலும்புகளைப் புகைப்படமெடுக்க உதவுகின்றன. இதற்கும் அப்பால், $\frac{1}{10,000,000,000}$ அங்குலம் அல்லது நாம் பார்க்கும் ஒளியின் அலைநீளத்தில் நூறு-ஆயிரத்தில் ஒருபங்கு அலைநீளமேகொண்ட, γ-கதிர்களின் கதிரியக்கத்தை நாம் காண்கிறோம். எனவே γ-கதிர்களை, மிகவும் சிறிய அலைநீளமுள்ள கண்ணுக்குப் புலப்படாத கதிரியக்கம் எனக் கருதலாம். இவைகள் உண்மையில் எந்த வேலைக்குப் பயன்படுகின்றன என்பதை நாம் பின்னால் விவரிப்போம். அவை முதன்முதலில் பிக்குரில் (Becquerel) என்பவரின் புகைப்படத் தகடுகளைப் பனிபோல் மறைக்கும் (fogging) மிக உபயோகமான வேலையைச்செய்து, பொருளின் கதிரியக்கத் தன்மையைக் கண்டுபிடிக்க வழி கோலியது என்று மட்டுமே நாம் இப்போதைக்குக் கூறுவோம்.

எந்தவிதமான சக்தியும் எடையை எடுத்துச் செல்லுகிறது; அதாவது ஒரு டன் நிலக்கரியின் எடை எவ்வளவுக்கெவ்வளவு உண்மையோ அதைப்போன்றே ஒவ்வொரு விதத்திலும் உண்மையான எடையைக் கொண்டுள்ளது என்பது மின்காந்தக் கொள்கையின் சாதாரணக் கருத்தாகும். கீழே விழும் ஒரு டன் நிலக்கரி, அல்லது வீசும் காற்று அல்லது பீறிடும் தண்ணீர் இவைகள் செய்வதைப் போலவே, ஓர் ஒளிக்கதிரானது தான் விழும் பரப்பின்மேல் மோதுதலை உண்டாக்குகிறது. எப்படி தீயணைக்கும் குழாயிலிருந்துவரும் தண்ணீரை வேகமாகப் பீச்சி ஒரு மனிதனைக் கீழே தள்ளமுடியுமோ அதே போல, போதுமான சக்திவாய்ந்த ஒளியாலும் ஒரு மனிதனைக் கீழே தள்ளலாம். இது கொள்கையளவில் சொல்லப்படும் கருத்துமட்டுமன்று, நேரடியான சோதனையால் ஒரு பரப்பின்மேல் ஒளி ஏற்படுத்தக்கூடிய அழுத்தமானது கண்டுபிடிக்கப்பட்டும் அளக்கப்பட்டுமிருக்கிறது. கதிரியக்கமானது மிகவும் குறைந்த எடையையே எடுத்துச்செல்வதால் நியாயமான முறைகளில் எப்படி நாம் பார்த்தாலும் இந்தச் சோதனைகள் மிகவும் கடினமானவை என்று தெரிகிறது. தொடர்ச்சியாக ஒரு நூற்றாண்டுவரை வேலைசெய்யும் 50 குதிரைத் திறனுள்ள (50 horse-

power) ஓர் ஆய்வு விளக்கின் (searchlight) கதிரியக்கமானது கிட்டத்தட்ட $\frac{1}{20}$ அவுன்ஸே எடையுள்ளதாக இருக்கிறது.

கதிரியக்கத்தை வெளிவிடும் எந்த ஒரு பொருளும் அதேசமயம் தன் எடையை இழக்கவேண்டும் என்பது இதிலிருந்து தெரிகிறது. குறிப்பாக எந்த ஒரு கதிரியக்கப் பொருளின் நசிவும் அதன் எடையைக் குறைக்கவேண்டும். ஏனென்றால், அந்த அந்த நசிவோடு γ-கதிர்கள் உருவில் கதிரியக்கமானது வெளியாகிறது. ஓர் அவுன்ஸ் யுரேனியத்தின் முடிவான நிலையானது (ultimate state) கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது :

$$\text{ஓர் அவுன்ஸ் யுரேனியம்} = \begin{cases} 0{\cdot}8653 \text{ அவுன்ஸ் காரீயம்} \\ 0{\cdot}1345 \quad ,, \quad \text{ஹீலியம்} \\ 0{\cdot}0002 \quad ,, \quad \text{கதிரியக்கம்} \end{cases}$$

முதன்முதலில் ஓர் அவுன்ஸ் யுரேனியத்தில் எவ்வளவு புரோட்டான்கள் இருந்ததோ அவைகளே காரீயம் மற்றும் ஹீலியம் இரண்டிலும் இருக்கின்றன. ஆனால், அவைகளின் சேர்ந்த எடையானது (combined weight) முதலில் இருந்த யுரேனியத்தின் எடையிலிருந்து 4000-க்கு ஒருபாகம் வீதம் குறைகிறது. எந்த இடத்தில் முதன் முதலில் 4000 அவுன்ஸுகள் பொருள் இருந்ததோ அங்கே இப்பொழுது 3999 அவுன்ஸுகள் பொருள்தான் மீதமிருக்கிறது. காணுமல் போகும் மீதி ஓர் அவுன்ஸ், கதிரியக்கம் என்ற உருவில் வெளியே சென்று விட்டது.

பலவிதமான அணுக்களின் எடையானது, ஹைட்ரஜன் அணுவின் எடையின் சரியான பெருக்குத் தொகையில் இருக்கும் என்று எதிர் பார்க்கமுடியாது என்பதை இது தெளிவாகக் காட்டுகிறது. இந்த மாதிரி உள்ள எந்த ஓர் எதிர்நோக்கலும் (expectation) அடைத்து வைக்கப்பட்டுள்ள அணு தன் நிலையை மாற்றும்போது தன்னை விடுவித்துக்கொண்டு கதிரியக்கம் என்ற உருவில் வானவெளியில் செல்லும்படியான மின்காந்த சக்தியின் எடையை கவனிக்காமல் விட்டு விடும். இந்தச் சக்தியின் எடையானது ஒப்பிடும்போது மிகச் சிறியதாக இருப்பதால், அணுவின் எடைகள், மிகச் சரியாக இல்லாவிட்டாலுங்கூட, தோராயமாக, ஹைட்ரஜன் அணுவின் எடையின் முழு எண் பெருக்குத்தொகையில் இருக்கும் என்று நாம் நிச்சயம் எதிர் பார்க்கலாம். எனவே, நாம் எதிர்நோக்குவது சரியே என்பது உறுதிப் படுகிறது. அணுக்களால் ஆன நம் அண்டத்தின் சரியான எடையானது அதன் செங்கற்களின் மொத்த எடை மட்டுமல்ல; அதில் பூசியிருக்கும், செங்கற்களை ஒன்றோடொன்று கெட்டியாகப் பிடித்துக் கொள்ள உதவும் சுண்ணும்பைப் போன்ற, மின்காந்த சக்தியின் எடைக்கும் நாம் ஏதாவது சற்று சேர்த்துக் கூட்டவேண்டும்.

எனவே, சாதாரண அணுவானது, புரோட்டான்கள், எலெக்ட்ரான்கள், நியூட்ரான்கள், பாஸிட்ரான்கள் ஆகியவைகளை அல்லது இவற்றில் சிலவற்றையாவது தன் உண்மைப் பகுதிப்பொருள்களாகக் (material constituents) கொண்டிருக்கிறது. மேலும் அணுவுக்கு எடையைக் கொடுக்கும் சக்தியும் இதில் அடங்கியிருக்கிறது. அணு இயற்கையாகவோ அல்லது தாக்குதலின்போதோ தன்னை மாற்றியமைத்துக் கொள்ளும்போது புரோட்டான்கள் மற்றும் எலெக்ட்ரான்கள் அல்லது அதன் உண்மை அமைப்பின் சிறுசிறு பகுதிகள் (fragments) ஆகியவை α மற்றும் β-தூள்கள் உருவில் வேளியே விடப்படலாம். அணுவின் கடைசி எடையை (final weight), அதன் முதலில் இருந்த எடையிலிருந்து வெளியே தள்ளப்படும் எலெக்ட்ரான்கள் மற்றும் புரோட்டான்களின் எடையைமட்டுமல்லாமல் கதிரியக்க உருவில் வெளியே விடப்படும் எல்லா சக்தியின் எடையையும் கழித்து நாம் அடையலாம்.

இரண்டு அல்லது அதிகமான அணுக்கள் தங்கள் பகுதிப் பொருள்களை மாற்றியமைத்துக்கொண்டு புதிய அல்லது அதிகச் சிக்கலான அணுவாகவோ அல்லது அணுக்களின் கூட்டாகவோ மாற மேலும் வழியிருக்கிறது. உதாரணமாகப் பொருண்மை 2 (mass 2) கொண்ட ஹைட்ரஜனின் ஐசோடோப்பானது இரண்டு சாதாரண ஹைட்ரஜன் அணுக்களின் பகுதிப்பொருள்களையே கொண்டுள்ளது. ஆனால், அதன் பொருண்மையானது இரு சாதாரண அணுக்களின் பொருண்மையைப் போல் இருமடங்கு இல்லை. ஆக்சிஜன் அணுவின் பொருண்மை 16 என்று எடுத்துக்கொண்டால், சாதாரண ஹைட்ரஜன் அணுவின் பொருண்மையானது 1·0081 ஆகும். ஆனால், ஹைட்ரஜனின் ஐசோடோப்பின் பொருண்மையானது 2·0142 ஆகும். இஃது இரு சாதாரண அணுக்களின் பொருண்மைக்கு 0·0020 அலகுகள் குறைவாக உள்ளது. எனவே, இரு சாதாரண அணுக்கள் ஒன்று சேர்ந்து, ஐசோடோப்பின் ஓர் அணுவாக மாறவேண்டுமானால் 0·0020 அலகுகள் பொருண்மை கொண்ட சக்தியானது வெளிவிடப்படும்.

மேலும் பொருண்மை 4 கொண்ட சாதாரண ஹீலியம் அணுவானது நான்கு சாதாரண ஹைட்ரஜன் அணுக்களின் பகுதிப்பொருள்களையே கொண்டிருக்கிறது. ஆனால், இது 0·0280 அலகுகள் பொருண்மை குறைவாக இருக்கிறது. எனவே, நான்கு ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் ஒன்று சேர்ந்து ஒரு ஹீலியம் அணுவாக மாற, 0·0280 அலகுகள் பொருண்மைக்குச் சமமான சக்தியானது வெளிவிடப்படும்.

அணுக்கள் மேலும் எளிய பொருள்களாகப் பிரியலாம். அம்மாதிரி செய்யும்போது அவை சக்தியை வெளிவிடுகின்றன. லாரிட்சன் (lauritsen) மற்றும் ஃபௌலர் (Fowler) என்பவர்கள் சோதனைக் கூடத்தில் (laboratory) அணுவானது ஒரு ஜதை எதிர் ஏற்றமுள்ள

சாதாரணத் துகள்களாகத் தன்னை மாற்றிக்கொள்ளலாம் என்றும், அதன் பொருண்மையின் பெரும் பகுதியானது அப்போது இயங்கும் சக்தியாக மாறுகிறது 'என்றும் கண்டார்கள். மில்லிகன் (Millikan) என்பவர் அண்டக் கதிரியக்கத்தின் சக்தியானது இதே விதத்தைச் சேர்ந்தது என்று நம்புகிறார். பக்கம் 137-ல் சொல்லப்பட்டுள்ள அண்டக் கதிரியக்கத்தின் துகள்களானவை $3{\cdot}6 \times 10^{-24}$ கிராம்கள் முதல் 27×10^{-24} கிராம்கள் வரையுள்ள சக்திகளோடு நகருகின்றன. இந்தச் சக்திகள் மொத்த அணுக்களின் பொருண்மைகளோடு ஒப்பிடக்கூடிய விதத்திலிருக்கின்றன. இந்தச் சக்தியானது பெரும்பாலும் அழிக்கப் பட்ட அணுக்களிலிருந்து உற்பத்தியாகிறது என்று மில்லிகன் கூறு கிறார். நேகர் (Neher) மற்றும் பிக்கரிங் (Pickering) என்பவர்களோடு இவரும் (1943-ல்) இந்த உத்தேசமானது (supposition), அண்டக் கதிரியக்கம் பூமியின் காந்தப் புலனால் (magnetic field) ஒதுக்கப்பட்ட (deflect) பிறகு அது பூமியின் மேற்பரப்பின் மேல் பகிர்ந்தளிக்கப்பட் டிருக்கும் விதத்தை மிகவும் திருப்திகரமான முறையில் விளக்குகிறது என்று கருதுகிறார். ஹீலியம், கார்பன், ஹைட்ரஜன், ஆக்சிஜன், சிலிகன் இவைகளே பிளக்கப்படவேண்டிய அணுக்களாகும். இந்தப் பட்டியல் அர்த்தமுள்ளதாக இருக்கிறது. மேலே கூறப்பட்ட அணுக்கள் ஏதோ ஒருவகைப்படி (at random) தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட அணுக்க ளல்ல. ஏனென்றால், பௌவன் (Bowen) மற்றும் வைஸ் (Wise) என்ப வர்கள் இவைகளில் ஹைட்ரஜனைத் தவிர [ஹைட்ரஜனானது அண்டக் கதிரியக்கத்தில் தான் இருப்பதை வெளியிட முடியாது (reveal its presence)] மற்றவைகள்மட்டுமே கோள்களின் நெபுலாக்களிலும் மேலும் விண்மீன்களுக்கிடையேயுள்ள பரப்புக்கு வெளியேயும் மிகுதி யாகக் காணப்படும் மூலப்பொருள்களாகும் என்று கண்டிருக்கிறார்கள்.

அண்டக் கதிரியக்கத்தின் மேற்கூறிய விளக்கமானது கடைசியில் நிர்ணயிக்கப்பட்டால், பொருளின் அழிவும் மற்றும் அது சக்தியாக மாறுபடுதலும் இயற்கையின் ஓர் அடிப்படையான முறைகளில் ஒன்றாகிவிடும் என்பதற்கு சாட்சியம் கிடைக்கும். சில வருடங்களுக்கு முன்னால் பல வானசாத்திரிகள் (astronomers), விண்மீன்களின் கதிரியக்கத்திற்கு வேண்டிய சக்தியை இதைப்போன்றே ஒருமுறை யானது அளிக்கும் என்று நினைத்தார்கள். ஆனால், வேறொரு மூலாதார மானது (source) இதைவிட, சம்பவிக்கக்கூடியதாக இருக்கலாம் (more probable) என்பதை நாம் விரைவில் காண்போம்.

குவான்டம் கொள்கை (Quantum Theory)

இப்பொழுது நாம் எடுத்துக்கொள்ளப்போகும் தொடர்ச்சியான எண்ணங்கள் (concepts) புரிந்துகொள்ளக் கடினமானதும், சந்தேக மின்றி பெரும்பாலும் விளக்கிச் சொல்வதற்கு மேலும் கடினமானது

மாகும். ஏனென்றால், இயற்கையிலிருந்து நாம் அடையும் அனுபவங்களிலிருந்து நமது மூளைக்கு எந்தவிதமான உதவியும் கிடைப்பதில்லை.[1] மீண்டும், உண்மைநிலையின் (reality) உண்மைத் தன்மையை (true nature) அறிந்துகொள்ள முயற்சிப்பது உபயோகமற்றது என்பதை நாம் நினைவுபடுத்திக்கொள்ளவேண்டும். நாம், மாதிரிகள் (models) மற்றும் படங்கள்மூலமாகத்தான் எதையும் விளக்கமுடியும். இவை கடைசி உண்மை நிலையை (ultimate reality) நிச்சயம் குறிப்பதாக இருக்கமுடியாது. நாம் மீண்டும், அணுவை, எலெக்ட்ரான்கள் சுற்றி வரும் அணுக்கரு என்றே கூறலாம்.

பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் இறுதிவரை வழக்கத்திலிருந்த, மாக்ஸ்வல் (Maxwell) மற்றும் ஃபாரடே (Faraday) ஆகியவர்களின் மிகப் புகழ்பெற்ற, மின்சாரத்தின் விதிகள் (laws of electricity) கதிரியக்கம் என்ற விதத்தில் எலெக்ட்ரான்களின்மூலம் சக்தியானது வெளியே சிதறிப்போய், அப்படிப்பட்ட அணுவின் சக்தியானது தொடர்ச்சியாகக் குறைந்துகொண்டே இருக்கவேண்டும் என்று கூறுகின்றன. இதே விதிகள், வானவெளியில் சுதந்திரமாக வெளிவிடப்படும் சக்தியானது, மிகமிகக் குறைந்த (infinitesimal) அலைநீளமுள்ள கதிரியக்கமாக மிக விரைவில் தன்னை மாற்றிக்கொள்கிறது என்று முன்கூட்டித் தெரிவிக்கின்றன. இருப்பினும் இவை சாதாரணமாக நடைபெறுததனால், இந்த மேற்சொன்ன விதிகள் புறக்கணிக்கப்படவேண்டியவை என்பது தெளிவாகிறது.

குழிக் கதிரியக்கம் (Cavity-Radiation)

மேற்சொன்னது பொய்யாகும் ஒரு முக்கியமான நிகழ்ச்சியைக் குழிக் கதிரியக்கமானது நமக்குத் தெரிவிக்கிறது. தன் உள்பாகத்தில் குழியுள்ள ஒரு பொருள் சுடர்விட்டு எரியும்வரை சூடாக்கப்படுகிறது. அதன் வெளிப்பரப்பு வெளிவிடும் ஒளி மற்றும் வெப்பத்தை நாம் கணக்கில் எடுத்துக்கொள்வதில்லை. ஆனால், உள்பாகத்திலுள்ள குழியில் அடைபட்டுக் கிடக்கும் ஒளியானது ஒரு சிறு ஜன்னல் வழியாக வெளிவிடப்பட்டு, ஒரு நிறமாலைக்காட்டி அல்லது டிஃப்ராக்ஷன் கிரேடிங் (diffraction grating) மூலமாக அதிலுள்ள நிறங்களாகப் பகுக்கப்படுகிறது. இதுவே குழிக்கதிரியக்கம் என்று வழங்கப்படும் கதிரியக்கமாகும். கதிரியக்கத்திலிருந்து ஒரு நிறமும் தவறாத (missing) பெரும்பாலும் முழுமையான தோற்றமுள்ளதுமான கதிரியக்கத்தை இது குறிக்கிறது. மேலும் இதில் ஒவ்வொரு நிறமும் தன் முழு ஆற்றலோடு மிளிர்கிறது. பல பொருள்கள் தோராயமாக

[1] இப் புத்தகத்தைப் படிக்கும், வானநூலில் மட்டுமே விருப்பமுள்ளவர் நேரடியாக அதிகாரம் 3-ஐ எடுத்துப் படிக்கத் தேர்ந்தெடுக்கக்கூடும்.

(approximately) இந்த முழுமையான கதிரியக்கத்தை வெளிவிட்டாலும், தன்னுடைய மேற்பரப்பிலிருந்து முழுமையாகக் கதிரியக்கத்தை வெளிவிடக்கூடிய, நமக்குத் தெரிந்த பொருள் ஒன்றுமில்லை. இந்த மாதிரி கதிரியக்கத்தை வெளிவிடும் பொருள்களை நாம் 'முழு ரேடியேட்டர்கள்' (full radiators) என்று அழைக்கிறோம்.

பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின், மின்காந்த சக்தியின் (electro-magnetism) விதிகள், ஒரு முழு ரேடியேட்டரால் வெளிவிடப்பட்ட அல்லது ஒரு குழியிலிருந்து வெளிவந்த கதிரியக்கம் முழுவதும் நிறமாலையின் ஊதா ஒளியின் முனைக்கு அப்பால், பொருள் எந்த வெப்ப நிலைக்குச் சூடேற்றப்பட்டுள்ளது என்பதையும் நீக்கிவிட்டுக் கண்டு பிடிக்கப்படவேண்டுமென்று முன்கூட்டித் தெரிவித்தன. வழக்கமாக உண்மையில் கதிரியக்கமானது சரியாக நிறமாலையின் எதிர்முனையில் அடுக்கிவைக்கப்பட்டதைப்போல் காணப்படுகிறது. மேலும், அஃது எந்த ஒரு நிகழ்ச்சியிலும், பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் பிரதிகளின் ஜோதிடத்தை (prediction) உறுதிப்படுத்துவதோ அல்லது தோராயமாகக் கூறுவதோயில்லை.

1891ஆம் ஆண்டில் பெர்லினின் பேராசிரியர் பிளாங்க் (Planck) என்பவர், சோதனைகள் மூலமாகக் குழிக்கதிரியக்கமாக நிறமாலையின் பலவித நிறங்களிடையே பகிர்ந்தளிக்கப்பட்டிருக்கும் விதியைக் கண்டு பிடித்தார். மேலும், அவர் எப்படித் தம்முடைய புதிதாகக் கண்டு பிடிக்கப்பட்டுள்ள விதியானது கொள்கையளவில் அப்போது வழக்கத்திலிருந்தவைகளிலிருந்து முக்கியமாக மாறுபட்ட பல மின்காந்த விதிகளிலிருந்து யூகிக்கலாம் என்பதைக் காண்பித்தார். ஒலிக்கும் கவைகள் (tuning forks) ஒன்றோடொன்று இடித்துக்கொள்ளும்போது எப்படி ஒலியை வெளிவிடுகின்றனவோ அதேபோல், ஊக்குவிக்கும் போது (excite) ஒளியை வெளிவிடும் அசைந்தாடிகளின் குடும்பங்களால் (systems of vibrators) வெளிவிடப்படவேண்டிய கதிரியக்கத்தின் எல்லாவிதங்களையும் அவர் கற்பனை செய்துபார்த்தார். ஒலிக்கும் கவையின் அதிர்வுகள் செய்வதைப்போல், அசைந்தாடி, மீண்டும் ஏதாவது ஒருவகையில் ஊக்குவிக்கப்படும் வரையில் ஒவ்வோர் அதிர்வும் படிப்படியாகச் சமநிலைக்கு (rest) வந்தபிறகு நின்றுவிடவேண்டுமென்று பழைய மின்பொருளியக்க (electro dynamical) விதிகள் கூறின. இவற்றையெல்லாம் ஒதுக்கித் தள்ளிவிட்டு, பிளாங்க், ஓர் அசைந்தாடியானது தன்னுடைய சக்தியைத் திடீர் அசைவுகளினால் (sudden jerks) மாத்திரமே தவிர வேறெந்தவிதத்திலும் மாற்ற முடியாது என்று கருதினார். அஃது ஒன்று, இரண்டு, மூன்று, நான்கு அல்லது எந்த ஒரு முழு எண்களின் அலகுகள் சக்தியுடையதாக இருக்கலாம். ஆனால், இவைகளுக்கு இடையேயுள்ள பின்ன எண்களாக இருக்கமுடியாது. எனவே, சக்தி மாற்றம் படிப்படியாக நடைபெறுவது

என்பது முடியாமல் போய்விட்டது. நாம் எடுத்துக்கொண்ட அசைந்தாடியானது சிறிது சிறிதாக மாற்றம் உள்ளது அன்று. அது தன்னுடைய சக்தியை ஒரு தடவைக்கு ஒரு ஷில்லிங் வீதத்தில்தான், அதனிடமிருப்பவை காலியாகும்வரை கொடுக்கமுடியும். அதுமட்டுமல்லாமல், முழு ஷில்லிங்குகளை எடுத்துக்கொள்ள ஒப்புக்கொண்ட போதிலும் அது சிறு மாற்றங்களை எடுத்துக்கொள்ள மறுத்துவிட்டது. அந்தச் சமயத்தில் உணர்ச்சிமிக்கதாகவும், புரட்சிகரமானதாகவும், பைத்தியக்காரத்தனமாகவும்கூடக் கருதப்பட்டுவந்த இந்த மேற்சொன்ன எண்ணமானது, மிகச் சரியாக, குழிக்கதிரியக்கத்தில் உண்மையில் கவனிக்கப்பட்ட நிறங்களின் பகிர்தலை விளக்குகிறது என்று தெரியவந்தது.

1913-ல் கோபென்ஹாகெனின் (Copenhagen) பேராசிரியர் நைல்ஸ் போர் (Niels Bohr) என்பவர் அணுமின் அமைப்புகளுக்கு இதைப்போன்ற கருத்துகளைப் பிரயோகித்தார். ஓர் அணு அல்லது மாலிகியூலின் அமைப்பானது படிப்படியாகத் தன் இருப்புநிலையை (configuration) மாற்றிக்கொள்வதோ அல்லது தன் சக்தியை வீணுக்குவதோயில்லை என்று அவர் கருதினார். இதற்குமாருக, அவைகளின் மாற்றங்கள் மிகவும் திடீரென்று ஏற்படுவதால் அந்த மாற்றங்களை ஒரு தொடர்ச்சியான பாய்ச்சல்கள் (jumps) அல்லது அசைவுகள் (jerks) என்று கருதலாம். எப்படி ஒரு மாடிப்படியில் வைக்கப்படும் ஒரு தூளானது பலவற்றை உண்டாக்கக்கூடிய நிலைகளை (possible positions) உடையதாக இருப்பதைப்போல ஓர் அணுவின் அமைப்பும், முற்றிலும் தனித்தனியான ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்று வேறுபட்ட பல இருக்கக்கூடிய நிலைகள் அல்லது இருப்பு நிலைகள் (configurations) உடையதாக இருக்கிறது என்று போர் கருதினார். அது மூன்று படிகளுக்கு மேலே இருக்கலாம் அல்லது நான்கு படிகளுக்கு மேலே இருக்கலாம். ஆனால், $3\frac{1}{4}$ அல்லது $3\frac{3}{4}$ படிகளுக்கு மேலே இருக்கமுடியாது. பொதுவாக ஒரு நிலையிலிருந்து மற்றொன்றுக்கு ஏற்படும் நிலைமாற்றமானது கதிரியக்க இடைநிலை வழியாக (medium of radiation) உண்டாக்கப்படுகிறது. அந்த அமைப்பு, தன்மேல் விழும் கதிரியக்கத்தின் சக்தியை உட்கொண்டு மேல்மாடிக்குத் தன்னைப் பிடித்துத் தள்ளலாம், அல்லது கீழே நகர்ந்து ஒரு குறைந்த சக்தி நிலையை (a state of lower energy) அடைந்து, அம்மாதிரிச் செய்யும்போது கதிரியக்கம் என்னும் உருவில் சக்தியை வெளிவிடலாம். ஒரு குறிப்பிட்ட நிறத்தின் கதிரியக்கமே அதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட அலைநீளமுள்ள நிறத்தின் கதிரியக்கமே, ஒரு குறிப்பிட்ட நிலைமாற்றத்தை உண்டுபண்ண முடிகிறது. ஓர் அணுக் குடும்பத்தின் (atomic system) இடம் மாற்றல் பிரச்சினையானது துவாரத்தில் பென்னியைக் கொண்ட ஒரு கருவியிலிருந்து (penny-in-the-slot machine) ஒரு

தீப்பெட்டியை எடுப்பதுபோலாகும். இத் தீப்பெட்டியை எடுக்க ஒரு பிரத்தியேகமான ஒரு கருவி வேண்டும். இந்தப் பென்னி சற்றுச் சிறிய தாகவோ பெரியதாகவோ, அல்லது சற்று இலேசாகவோ கனமாகவோ இருந்தால், தீப்பெட்டியை வெளியே எடுக்க நாம் மேற்கொள்ளும் முயற்சிகள் யாவும் தோல்வியடையும். தவருன அலைநீளமுள்ள கதிரி யக்கத்தை அணுவின்மேல் செலுத்தினுல் அதனுல் அணுவைப் பிரிக்க முடியாது. இந்த நிலையானது கோடீஸ்வரன் ஒருவன் ஒரு பென்னி இல்லாததனுல் தீப்பெட்டியை வாங்க இயலாத ஒரு வேடிக்கையான நிலையை ஒத்திருக்கும். அல்லது அதிகமாகப் பணமிருந்தும் ஃபார்த்திங் குகள், அரை பென்னிகள் இல்லாததனுல் ஒரு சாக்லேட் துண்டை வாங்க இயலாத ஒரு குழந்தையின் சோக நிலையை ஒத்திருக்கும். அணுக் கூட்டத்தின்மேல் பலவிதக் கதிரியக்கங்களைக் கலந்து செலுத்தினுல், அவை தம்முடைய உட்புற நிலைகளை மாற்றுவதற்கேற்ற அலைநீளங்களை யுடைய கதிரியக்கங்களைமட்டும் உட்கொண்டு மற்றவைகளைத் தள்ளி விடும். அதாவது மற்ற இதர அலைநீளங்களையுடைய கதிரியக்கமானது பயன்படாமல் போய்விடும்.

இவ்விதம் சரியான கதிரியக்கத்தைத் தேர்ந்தெடுக்கும் அணுவின் செயலானது பலவிதங்களில் தெரியவருகிறது. அநேகமாகச் சூரியன் மற்றும் விண்மீன்களின் நிறமாலைகளில் இது மிகவும் எளிய முறையில் காணப்படுகின்றது. சூரியனின் நிறமாலையில் ஃபிரவுன்ஹோஃபர் (Fraunhofer) என்பவரால் காணப்பட்ட கறுப்புக்கோடுகள்போலவே உள்ள கோடுகள் (dark lines) எல்லா விண்மீன்களின் நிறமாலைகளி லும் காணப்படுகின்றன (36ஆம் பக்கத்திலுள்ள XV ஒளிப்படத்தைப் பார்க்கவும்). இஃது ஏன் இப்படி யிருக்கவேண்டுமென்பதை நாம் இப் பொழுது புரிந்துகொள்ள முடியும். ஒவ்வோர் அலைநீளமுள்ள ஒளியும் விண்மீனின் வெப்பமான உட்புறத்திலிருந்து வெளியே பாய்ந்துவந்து தன் வளிமண்டலமாகி நிற்கும் அணுக்களைத் தாக்குகிறது. ஒவ்வோர் அணுவும் தனக்குச் சரியான அலைநீளமுள்ள கதிரியக்கத்தையே உட் கொள்கிறது. ஆனுல், மற்ற அலைநீளங்களுடைய கதிரியக்கத்தை அஃது ஒன்றும் செய்யாததனுல் விண்மீனிலிருந்து கடைசியாக வெளிப்படும் கதிரியக்கமானது அணுக்களுக்கு உகந்த அலைநீளங்கள்மட்டும் குறைந்துள்ளதாகக் காணப்படுகிறது. எனவே, விண்மீனுனது அழகான கோடுகளை உட்கவர்ந்த நிறமாலையைக் (absorption spectrum of fine lines) காட்டுகிறது. நிறமாலையில் இந்தக் கோடு களின் இருப்பிடங்களிலிருந்து விண்மீன்களின் அணுக்களானவை எந்தவிதமான கதிரியக்கத்தை உட்கொண்டிருக்கிறது என்பதைக் காண்பிக்கின்றன. எனவே, இவை கதிரியக்கத்தின்மேல் விருப்பமுள்ள பலவிதமான மாறுபட்ட அணுக்களைப்பற்றி ஆராய்ச்சிசாலையில் நாம் பெறும் அறிவிலிருந்து அணுக்களை அடையாளம் கண்டுகொள்ள

(identify) உதவுகின்றன. ஆனால், அணுவானது எந்தவிதமான கதிரியக்கத்தை உட்கொள்ளும், எதை வேண்டாமென ஒதுக்கிவிடும் என்பதைக் கடைசியாக எது தீர்மானிக்கிறது?

கதிரியக்கத்தின் ஒவ்வோர் அலைநீளமும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு சக்தியோடு தொடர்புகொண்டிருக்கிறது என்பது பிளாங்கின் (Planck) கொள்கையின் ஒரு பகுதியாக இருந்துவந்தது. அச் சக்தியை அவர் குவான்டம் (Quantum) என்று அழைத்தார். இது கதிரியக்கத்தின் அலைநீளத்தைத் தவிர மற்ற எதையும் பொறுத்ததன்று. குவான்டம் என்பது அலைவெண்ணின் அல்லது ஒரு வினாடியில் உண்டாகும் கதிரியக்கத்தின் அதிர்வின் எண்ணிக்கையின் விகிதத்திலிருப்பதாகக் கருதப்படுகிறது.[1] எனவே, இது கதிரியக்கத்தின் அலைநீளத்தின் தலைகீழ் விகிதத்திலுள்ளது (inversely proportional). அதாவது அலைநீளம் குறைவாயிருந்தால் குவான்டத்தின் சக்தியானது அதிகமாயிருக்கும். நீளம் அதிகமாயிருந்தால் சக்தி குறைவாயிருக்கும். சிவப்பு ஒளியானது சக்தி குறைந்த குவான்டா (quanta) கொண்டது; மற்றும் ஊதா ஒளியானது அதிகச் சக்திவாய்ந்த குவான்டா கொண்டுள்ளது. பல பௌதிகப் பிரச்சினைகளில் (physical problems) கதிரியக்கத்தை, ஒவ்வொரு கட்டிலும் (packet) ஒரு குவான்டம் சக்தி மட்டும் உள்ள, தனித்தனி கட்டுகள் என்ற தோற்றத்தில் வான வெளியின்மூலம் பிரயாணம் செய்வதாக நாம் நினைத்துப் பார்க்கலாம். இந்தக் கட்டுகள் சாதாரணமாக போட்டான்கள் (photons) என்று விவரிக்கப்படுகின்றன. அதிக அலைவெண்ணுள்ள கதிரியக்கத்தின் போட்டான்களைக்காட்டிலும் அதிகமான சக்தியை எடுத்துச் செல்வதால் சாதாரணமாகப் பொருளை மிக விரைவாகத் துளைத்துச் செல்லும் X-கதிர்கள் மற்றும் γ-கதிர்களின் அதிகத் துளைக்கும் சக்தியை இது விளக்குகிறது (பக்கம் 143).

ஒரு கொடுக்கப்பட்டுள்ள கதிரியக்கமானது மாற்றத்திற்குத் தேவையான சக்தியானது கதிரியக்கத்தின் ஒரு குவான்டம் சக்திக்கு மிகச் சரியாகச் சமமாயிருந்தால்தான் அணுக்களை அல்லது மாலிகியூல்களை மாற்றமடையச் செய்யமுடியும் என்று ஐன்ஸ்டைன் (Einstein) கருதினார். இது சாதாரணமாக ஐன்ஸ்டைனின் விதி எனப்படும். எந்த அணு அல்லது மாலிகியூலின் துவாரத்தில் பென்னியைக் கொண்ட

[1] சரியாகச் சொல்லப்போனால், ν என்பது கதிரியக்கத்தின் அதிர்வெண்ணானால், அதன் சக்தியின் குவான்டமானது $h\nu$. இதில் h என்பது இயற்கையின் மாறாத எண்ணாகும் (universal constant of nature). இது பிளாங்கின் மாறாத எண் எனப்படும். இந்த எண் நேரம் மற்றும் சக்தியின் பெருக்குத் தொகைக்குச் சமமாகும். அதன் மதிப்பு $= 6{\cdot}55 \times 10^{-27}$ எர்க் $\times$ வினாடி, (அதாவது $= 6{\cdot}55 \times 10^{-27}$ erg $\times$ second).

கருவியை வேலை செய்யவைக்கத் தேவையான கதிரியக்கத்தின் சரியான விதத்தை (type) இந்த விதி நிர்ணயிக்கிறது.[1]

ஒரு சக்திவாய்ந்த (powerful) குவான்டம் தேவைப்படும் ஒரு வேலையை, இரண்டு அல்லது உண்மையில் எந்த ஓர் எண்ணிக்கை கொண்ட சக்திக் குறைவான குவான்டாவினாலும் செய்யமுடியா தென்பதை நாம் கவனிக்கிறோம். ஒரு சிறு அளவுள்ள ஊதா ஒளி யானது (இஃது அதிக அலைவெண் கொண்டது) எந்த ஓர் அளவு கொண்ட சிவப்பு ஒளியாலும் (இது குறைவான அலைவெண் கொண்டது) செய்யமுடியாதவற்றைச் செய்கிறது.

இரண்டு பறவைகளை ஒரு கல்லினால் கொல்வதைப் போன்ற, மற்றும் இரண்டு கற்களினால் ஒரு'பறவையைக் கொல்வதைப் போன்றது மான வேலைகளைச் செய்வதை இந்த விதியானது தடுக்கிறது. மாற்றத்தை உண்டாக்குவதில் முழு குவான்டமும் உபயோகிக்கப் படுவதால், வேறு எந்த ஒரு மாற்றத்தையும் ஏற்படுத்த உதவக்கூடிய சக்தியை இந்தக் குறிப்பிட்ட குவான்டம் மீதி வைப்பதில்லை. பொருளின் இந்த ஒரு நிலையை (aspect), 'ஒளியின் படுகையினால் (incidence) உண்டாக்கப்படும் எந்த ஓர் இரசாயன இயக்கத்திலும் (chemical reaction) பாதிக்கப்படும் மாலிகியூல்களின் எண்ணிக்கை கிரகித்துக்கொள்ளப்படும் ஒளியின் குவான்டாவின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாகும்' என்னும் ஐன்ஸ்டைனின் ஒளி இரசாயன (photochemical) விதியானது விளக்குகிறது. துவாரத்தில் பென்னியைக்கொண்ட கருவியில் வேலை செய்பவர்களுக்கு இதைப்போன்றேயுள்ள 'விற்கப் பட்ட பொருள்களின் எண்ணிக்கையானது மிகச் சரியாக இயந்திரத்தி லுள்ள நாணயங்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாகும்' என்னும் விதி பழக்கப்பட்டதேயாகும்.

சக்தியை நாசம் செய்வதின் ஆற்றல் என்று நாம் நினைத்தால், குறைந்த அலைநீளமுள்ள கதிரியக்கமானது அதிக அலைநீளமுள்ள கதிரியக்கத்தைவிட அதிகமான நாசத்தை அணுவின் அமைப்புகளில் உண்டாக்கமுடியும் என்பதை நாம் பார்க்கிறோம். இந்தத் துன்பகர மான நிலை ஒவ்வோர் ஒளிப்படம் எடுப்பவருக்கும் நன்கு தெரிந்ததே யாகும். நாம் விரும்பும் அளவில் எவ்வளவு சிவப்பு ஒளியை வேண்டு மானாலும் நாசம் விளைவிக்காத வகையில் அனுமதிக்கலாம். ஆனால், ஊதா ஒளியின் மிகச் சிற்றளவு ஒளியும் (tiniest gleam) நம் தகடுகளை

[1] இது $E_1 - E_2 = h\nu$ என்ற சமன்பாட்டின் (equation) உருவத்திலுள்ளது. E_1, E_2 என்பவை உண்மைப் பொருளின் அமைப்பின் (material system) மாறுதலுக்கு முன்பிருக்கும் மற்றும் பிறகு இருக்கும் சக்திகளாகும்; ν என்பது கதிரியக்கத்தின் அலைவெண்ணாகும், மற்றும் h என்பது முன்னமே சொல்லப்பட்ட பிளாங்கின் மாறாத எண்ணாகும்.

நாசம் செய்துவிடுகிறது. போதுமான அளவுள்ள குறைந்த அலைநீள முள்ள கதிரியக்கமானது மாலிகியூல்கள் அல்லது அணுக்களை மாற்றி யமைப்பது மட்டுமல்லாமல், அது போய் விழக்கூடிய எந்த ஓர் அணுவை யும், அதன் எலெக்ட்ரான்களில் ஒன்றை வெளியே துரத்திப் பிளக்கும். இந்தச் செய்கைகளெல்லாம் ஒளிமின் செய்கை (photo-electric action) என்று விளக்கலாம். மேலும் அலைவெண்ணுக்கு ஒரு திட்ட மான வரையறை உண்டு. அதனால் ஒளியானது எவ்வளவு தீவிரமாக இருந்தாலும் அதன் அலைவெண் இந்த வரையறைக்குக் குறைந்தால் ஒரு பயனையும் விளைவிப்பதில்லை. இதற்கு எதிர்மாறாக இந்த வரை யறைக்கு மேலே நாம் வந்த உடனேயே, மிகக் குறைந்த தீவிரமுள்ள ஒளிகூட, ஒளிமின் செய்கையை உடனே செய்ய ஆரம்பிக்கிறது. மேலும் ஒரு குவான்டத்தை உட்கொள்வது ஒரே ஓர் அணுவைத்தான் பாதிக்கும். மேலும் அதிகப்படியாக அணுவிலிருந்து ஒரே ஓர் எலெக்ட்ரானைத்தான் வெளியேற்ற முடியும். கதிரியக்கத்தின் குவான்ட மானது அணுவிலிருந்து ஒரு தனி எலெக்ட்ரானை வெளியேற்றத் தேவை யான மிகக் குறைந்த சக்திக்கு அதிகமான சக்தி உடையதாயிருக்கும் படியான அலைவெண் உடையதாயிருந்தால், முழு குவான்டமும் இன்னும் உறிஞ்சப்படுகிறது. அதிகமாயுள்ள சக்தியானது வெளித் தள்ளப்பட்ட எலெக்ட்ரானுக்கு இயக்கத்தைக் கொடுக்கிறது.

எலெக்ட்ரானின் சுற்றுப் பாதைகள் (Electron Orbits)

இந்தக் கருத்துகள் அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரானுக்கு ஒரு குறிப் பிட்ட எண்ணிக்கையுள்ள பாதைகளே உள்ளன; மற்றும் கதிரியக்கம் என்னும் ஊக்குவிக்கும் ஆற்றலால் எலெக்ட்ரானானது ஓர் அனுமதிக்கப் பட்ட பாதையிலிருந்து இன்னொன்றுக்குச் சுதந்திரமாக இயங்குகிறது என்ற போரின் (Bohr) கருத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டதாகும். மற்ற எல்லாப் பாதைகளும் போரின் கொள்கையானது சரியான காரணங்களைக் கூறுததனால் விட்டுவிடப்பட்டுள்ளன. இந்தக் கருத்துக் குட்பட்டு போர் என்பவர் தானே பலவிதமான அனுமதிக்கப்பட்ட பாதைகளை வரிசைப்படுத்தும் விதத்தை ஆராய்ந்தார்.

ரூதர்ஃபோர்டைப் (Rutherford) பின்பற்றி போர், ஹைட்ரஜன் அணுவை ஒரு தனி புரோட்டானும் அதைச் சுற்றிவரும் ஒரு தனி எலெக்ட்ரானும் கொண்டதாக எண்ணினர். எலெக்ட்ரானைவிட 1847 மடங்கு அதிக எடையுள்ள புரோட்டான், எப்படிச் சூரியனானது அதைச் சுற்றிவரும் பூமியின் அசைவால் பாதிக்கப்படாமல் இருக்கிறதோ அதே போல் எலெக்ட்ரானின் இயக்கத்தால் பாதிக்கப்படாமல் சமநிலையிலிருக் கிறது. புரோட்டானும் எலெக்ட்ரானும் நேர் மற்றும் எதிர்மின் ஏற்றங் களைக் கொண்டுசெல்லுகின்றன. எனவே, அவை ஒன்றையொன்று கவருகின்றன. எனவேதான், பூமியும் சூரியனும்போலவே, எலெக்ட்ரா

னது ஒரு நேர்கோட்டில் பறந்துவிடாமல் பாதையில் சுற்றி வருகிறது. மேலும், எதிர்க் குறிகளுள்ள நேர் மற்றும் எதிர் மின் ஏற்றங்களுக்கிடையேயுள்ள கவருதலானது, புவிஈர்ப்பு விசை பின் பற்றும் விதியையே பின்பற்றுகிறது. இந்தக் கவரும் சக்தி இரண்டு மின் ஏற்றங்களுக்கும் இடையேயுள்ள தூரத்தின் வர்க்கத்தின் தலைகீழ் விகிதத்தில் குறைந்துகொண்டு செல்கிறது. எனவே, புரோட்டான் எலெக்ட்ரான் குடும்பமானது, சூரியன்-கோள்களின் குடும்பத்தை எல்லாவிதங்களிலும் ஒத்திருக்கிறது. ஓர் எலெக்ட்ரானின் மையத்தி லுள்ள ஒரு புரோட்டானைச் சுற்றிவரும் பாதைகளானவை மையத்தி லுள்ள சூரியனை ஒரு கோள் சுற்றிவரக்கூடிய பாதைகளை எல்லாவிதங் களிலும் ஒத்திருக்கின்றன (identical). அவை, ஒரு குவியத்தில் (focus) அணுக்கருவைக் கொண்டுள்ள ஒரு நீள்வட்டங்களின் அமைப்பைக் (system of ellipses) கொண்டுள்ளன.

இருப்பினும், குவான்டம்-பொருளியக்க நூலின் பொதுக் கருத்துகள் (general concepts) எலெக்ட்ரானை, இந்த எல்லாப் பாதைகளிலும் பகுத்தறியாத வகையில் (indiscriminately) சுற்று வதைத் தடுக்கின்றன. போரின் தொடக்கக் கொள்கை (original theory), ஹைட்ரஜன் அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரானது இயற்கை எண் களின் (natural numbers) வர்க்கத்தின் விகிதத்திலுள்ள அதாவது 1, 4, 9, 16, 25...முதலிய அளவுள்ள விட்டங்களைக் கொண்ட குறிப்பிட்ட வட்டப் பாதைகளில்தான் செல்லமுடியும் என்று கருதியது. தொடர்ந் தாற்போல், போர் இந்த எளிய உத்தேசத்தைச் (hypothesis) சற்று மாற்றியமைத்தார். அலை-பொறிநுட்பவியல் (wave-mechanics) மிக அண்மையில் இதை மேலும் மாற்றியுள்ளது.

இருப்பினும் எலெக்ட்ரானது போரின் எளிய பாதைகளில் ஏதாகிலும் ஒன்றைச் சுற்றிவரும்போது எவ்வளவு சக்தி உடையதாக இருக்கிறதோ கிட்டத்தட்ட அதே சக்தியை ஹைட்ரஜனின் அணு எப் பொழுதும் உடையதாக இருக்கிறது என்பது இன்னமும் உண்மையா யிருக்கிறது. எனவே, அதன் சக்தி மாறும்போது, இந்தச் சுற்றுப் பாதைகளில் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றுக்கு எலெக்ட்ரானது குதித் ததைப் போன்று இது மாறுகிறது. இந்தக் காரணத்தினால் ஒரு ஹைட்ரஜன் அணுவானது சக்தியின் எந்த மாற்றங்களை அடையலாம் என்பதை எளிதாகக் கணக்கிடலாம். இவைகள் சரியாக (precisely) போரின் ஒரு சுற்றுப் பாதையிலிருந்து இன்னொன்றுக்குச் செல்லும் போது ஏற்படும் மாற்றங்களேயாகும். உதாரணமாக, ஹைட்ரஜன் அணுவிலுள்ள மிகச்சிறிய விட்டங்களுள்ள இரு சுற்றுப் பாதைகள் சக்தியில் 16×10^{-12} எர்குகள் வித்தியாசப்படுகின்றன. எல்லாவற்றிலும் மிகச் சிறியதான சுற்றுப்பாதையைச் சுற்றிவரும் எலெக்ட்ரானைக் கொண்டுள்ள அணுவின்மேல் சரியான அலைநீளமுள்ள கதிரியக்கத்தை

நாம் செலுத்தினால் அஃது அடுத்த பாதைக்குக் கடந்து சென்று இந்த முறையில் 16×10^{-12} எர்குகள் சக்தியை உட்கொண்டு, தற்சமயத்திற்கு மட்டும் 16×10^{-12} எர்குகள் சக்திகொண்ட சக்தி சேமிப்பு நிலையமாக மாறுகிறது. அணுவானது எந்தவிதத்திலாவது வெளிப்புறத்திலிருந்து பாதிக்கப்பட்டால் அஃது எந்தச் சமயத்திலும் தன் சக்தியை வெளிவிட்டு விடும் அல்லது மேலும் சக்தியை உட்கொண்டு தன்னுடைய சேமிப்பை அதிகப்படுத்திக்கொள்ளும். எந்த ஒருவிதமான அணுவுக்கும் உகந்த தான சுற்றுப்பாதைகள் எல்லாவற்றையும் நாம் அறிந்திருந்தால், அவைகளினிடையேயுள்ள கடத்தல்களில் (transitions) உண்டாகும் சக்தி மாற்றங்களைக் கணக்கிடுவது சுலபமாயிருக்கும். ஒவ்வொரு கடத்தலும் சரியாக ஒரு குவான்டம் சக்தியை உட்கொள்வதனால் அல்லது வெளிவிடுவதனால், நாம் உடனே அந்தக் கடத்தல்களினால் வெளிவிடப்பட்ட அல்லது உட்கொள்ளப்பட்ட ஒளியின் அலைவெண்களை இதிலிருந்து கண்டுபிடிக்கலாம். சுருங்கச் சொல்லின், அணுவின் சுற்றுப்பாதைகளின் வரிசைப்படுத்துதலைக்கொண்டு அணுவின் நிற மாலையை நாம் கணக்கிடமுடியும். வழக்கத்தில் வரும்போது இந்தப் பிரச்சினையானது மறுதலைத் தோற்றத்தை (converse form) எடுத்துக் கொள்கிறது. அதாவது நிறமாலையைக் கொடுத்தால், அதை வெளி விடும் அணுவின் அமைப்பைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

போரின் (Bohr) ஹைட்ரஜன் அணுவின் மாதிரியானது (model) ஹைட்ரஜனின் நிறமாலையைப் போலவேயுள்ள நிறமாலையை வெளிவிடுவதனால், அதை ஒரு நல்ல மாதிரி (good model) எனக் கருதலாம். ஹைட்ரஜனுக்குக்கூட மிகச் சரியாக அமையாத இந்த உடன்பாடு (agreement) மிகவும் சிக்கலான நிறமாலைகளில் முழுவதுமாகத் தோல்வியடைகிறது. எனவே, போரின் சுற்றுப்பாதைகளைப்பற்றிய திட்டமானது (scheme) உண்மையான நிறமாலையை நன்கு விளக்கப் போதுமானதன்று என்று பொதுவாக ஒப்புக்கொள்ளப்படுகிறது. நாம் போரின் திட்டத்தையே தொடர்ந்து விவாதிப்போம். அந்த விதத்தில் தான் அணுவானது உண்மையில் அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது என்பது மட்டும் இதற்குக் காரணமன்று. நாம் இப்பொழுது மேற்கொண்டுள்ள சர்ச்சைக்கு மிகவும் பொருத்தமான மாதிரியை அது கொடுக்கிறது என்பதே இதற்குக் காரணமாகும்.

16×10^{-12} எர்குகள் சக்தி கொண்டுள்ள ஏற்றமுள்ள ஹைடிரஜன் அணுவானது தொந்தரவு செய்யப்படாமல் முழுமையாக விடப்பட்டால், எலெக்ட்ரானனது சிறிது நேரத்திற்குப் பிறகு இயற்கையாகவே தன்னுடைய சிறிய சுற்றுப்பாதைக்குச் சென்றுவிடுகிறது என்பதும், அவ்வாறு செய்யும்போது 16×10^{-12} எர்குகள் சக்தியைக் கதிரியக்கம் என்ற உருவில் வெளிவிடுகிறது என்பதும், முதலில் இந்த முழுக் கொள்கையின் எதிர்பாராத சிறப்பாகத் (feature) தோன்றினாலும்

மிகவும் முக்கியமானதாகும். இஃது இம்மாதிரி இல்லாவிட்டால், குழிக் கதிரியக்கம் எனப்படும் பிளாங்கின் (Planck) நன்றாக நிறுவப்பட்ட விதியானது உண்மையாக இருக்கமுடியாது என்று ஐன்ஸ்டைன் காட்டினார். எனவே, இருக்கக்கூடிய மிகச்சிறிய சுற்றுப்பாதையைக் காட்டிலும் பெரிதான சுற்றுப்பாதைகளை எலெக்ட்ரான்களைக்கொண்ட ஹைட்ரஜன் அணுக்களின் கூட்டமானது, அணுக்களானவை இயற்கையாகவே தமது குறைந்த சக்தி நிலைகளைக் காலப்போக்கினாலேயே அடைந்துவிடுகின்றன என்னும் விஷயத்தில், யுரேனியம் அல்லது கதிரியக்க அணுக்களின் கூட்டத்தை ஒத்திருக்கிறது.

மேலும் சிக்கலான அணுக்களில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் சுற்றுப்பாதைகள், ஹைட்ரஜன் அணுவில் உள்ளதைப்போன்ற பொதுவான அமைப்பு முறையைக் கொண்டுள்ளன. ஆனால் அவை பலவித மாறுபட்ட அளவுகள் கொண்டுள்ளன. பொதுவாக, போதுமான காலத்திற்குப் பிறகு ஹைட்ரஜன் அணுவில் எலெக்ட்ரானானது குறைந்த சக்தி நிலையுள்ள சுற்றுப்பாதையில் விழுந்து அங்கே தங்குகிறது. இதே போல், சுற்றுப்பாதைகளில் செல்லும் பல எலெக்ட்ரான்களைக்கொண்ட மேலும் சிக்கலான அணுக்களில், சிறிது காலத்திற்குப் பிறகு எல்லா எலெக்ட்ரான்களும் குறைந்த சக்திநிலை கொண்ட சுற்றுப்பாதையில் விழுந்து அங்கே தங்கும் என்று நினைக்கலாம். ஆனால், இஃது உண்மையன்று. ஒரு சுற்றுப்பாதையில் ஓர் எலெக்ட்ரானுக்குமேல் இருக்க இடமில்லை. இது பௌதிகம் முழுவதிலும் அதிகாரம் செலுத்தும் முக்கியக் கொள்கையின் ஒரு முக்கியப் பகுதியாகும். இதற்குத் தவிர்க்கும் தத்துவம் (exclusion principle) என்று பெயர். ஆனால், எல்லாவற்றையும்பற்றி இவ்வளவே சொல்லலாம். ஏனென்றால், நாம் அவைகளைச் சரியாகப் புரிந்துகொள்ள இன்னும் முடியவில்லை. இது, மற்ற முக்கிய விஷயங்களில், பொருளின் இரண்டு மாறுபட்ட துண்டுகள் ஒரேசமயத்தில் ஒரே இடத்தை அடைத்துக்கொள்ளமுடியாது என்ற விஞ்ஞானத்தின் பழமையான கருத்தோடு ஒன்றிவிடுகிறது. இந்த அடிப்படையான கொள்கையைப் புரிந்துகொள்ளாமலேயே, நாம் இரு எலெக்ட்ரான்கள் ஒரே இடத்தை மட்டுமன்று, ஒரே சுற்றுப்பாதையில் கூட இருக்கமுடியாது என்ற உண்மையை ஒப்புக்கொள்ளலாம். இது, மற்றொன்றுக்கு இடம் விடாமல் எலெக்ட்ரானானது தானே முழு சுற்றுப்பாதை முழுவதையும் அடைத்துக்கொள்வதைப் போலாகும். இதை நாம் முற்றிலும் சரியான விளக்கம் என்று எடுத்துக்கொள்ளக்கூடாது என்பதில் சந்தேகமில்லை. இருந்தாலும், அலை-பொறிநுட்பவியலானது சில விதங்களில் (இதுவரை இவை யாவை என்று சரியாகச் சொல்ல முடியவில்லை) ஹைட்ரஜன் அணுவிலுள்ள குறைந்த சக்திகொண்ட சுற்றுப்பாதைகளாகும் என்று கூறுகிறது. ஏனென்றால், எலெக்ட்ரானானது அதை முழுவதும் நிரப்பமுடியும். மற்றும் அருகிலுள்ள சுற்றுப்

பாதைகள் அதற்குப் பொருந்தாது. ஏனென்றால், எலெக்ட்ரானது, அவைகளை $\frac{3}{4}$ அல்லது $1\frac{1}{2}$ தடவைகள் அதிகமாக நிரப்பும். மற்றும் மேலும் சிக்கலான அணுக்களுக்கும் இதைப்போன்ற கூற்று பொருந்தும். பௌதிகத்தின் எந்த ஒரு தெரிந்த நிகழ்ச்சியும் (phenomenon) கொடுக்கப்பட்ட ஒரு நேரத்தில் எலெக்ட்ரானது குறைந்த சக்தி நிலையுள்ள சுற்றுப்பாதையில் இந்த இடத்தில்தான் இருக்கிறது என்று கூற முடியவில்லை என்று சொல்வது இச்சமயத்தில் பொருத்தமாக இருக்கிறது. உதாரணமாக, எலெக்ட்ரானது ஒரு வளைய வடிவத்தில் (ring) செல்லுகிறது என்று கூறுவது மிகவும் அர்த்தமற்றதாகவே தோன்றுகிறது. ஏனெனில், அம்மாதிரி ஒரு கொடுக்கப்பட்ட நேரத்தில் எலெக்ட்ரானது சுற்றுப்பாதையில் இந்த இடத்தில்தான் இருக்கிறது என்று கூறுவதனால் அணுவின் நிலையானது (condition) அநேகமாக முழுமையாகத் தெரிந்துவிடுகிறது. மற்றச் சுற்றுப்பாதைகளைப்பற்றி இதேபோல் நாம் கூறமுடியாது. நாம், அதிக விட்டமுள்ள, சக்தி அதிகமுள்ள சுற்றுப்பாதைகளுக்குச் செல்லும்போது இந்தத் தீர்மானிக்க இயலாத தன்மையானது (indeterminateness) படிப்படியாக வேறொரு மாறுபட்ட தோற்றத்தை அடைந்து கடைசியில் சற்றும் முக்கியமற்றதாகப்போய்விடுகிறது. அணுக்கருவுக்கு அருகில் சிறிய சுற்றுப்பாதையில் எலெக்ட்ரானது செல்லும்போது எந்தத் தோற்றத்தை அஃது அடைந்திருந்தாலும், தொலைவாயுள்ள ஒரு பெரிய சுற்றுப் பாதையை அது சுற்றும்போது, மின்சார ஏற்றமுள்ள ஒரு சாதாரண உண்மைப் பொருளாக மாறிவிடுகிறது.

எனவே, எந்த ஒரு காரணமாக இருந்தாலும், ஒரே அணுவில் சுற்றுப்பாதைகளில் சுற்றிவரும் எலெக்ட்ரான்கள் எல்லாம் வெவ்வேறு சுற்றுப்பாதைகளில் இருக்கவேண்டும். தங்கள் சுற்றுப்பாதைகளிலுள்ள எலெக்ட்ரான்கள், ஏணியிலுள்ள மனிதர்களைப்போன்றுள்ளன. எப்படி ஏணியின் ஒரே கட்டையில் இரு மனிதர்கள் சேர்ந்தாற்போல் நிற்க முடியாதோ அதேபோல் ஒரே சுற்றுப்பாதையில் இரு எலெக்ட்ரான்கள் ஒன்றை ஒன்று எப்பொழுதும் தொடர்ந்து செல்லமுடியாது. உதாரணமாக, 10 எலெக்ட்ரான்களைக்கொண்ட நியான் (neon) அணுவானது அதன் எலெக்ட்ரான்கள் ஒவ்வொன்றும் மிகச் சக்தி குறைந்த 10 சுற்றுப் பாதைகளில் ஒன்றை ஏற்றுக்கொள்ளும்போது, சாதாரணமாகக் குறைந்த சக்தி நிலையில் இருக்கிறது. விளக்குவதில் கடைசியில் வெற்றிகண்ட குவான்டம் கொள்கையின் பல காரணங்களினால், ஒவ்வோர் அணுவிலும், சமமான மற்றும் எந்த ஒரு சுற்றுப்பாதையை விடவும் குறைந்த சக்தியுள்ள இரு சுற்றுப்பாதைகள் இருக்கின்றன. இதற்குப் பிறகு சமமான ஆனால் முக்கியமாக அதிகச் சக்தியுள்ள 8 சுற்றுப்பாதைகளும், அதன்பிறகு சமமான ஆனால் மேலும் அதிகச் சக்திவாய்ந்த 18 சுற்றுப்பாதைகளும், மேலும் இம்மாதிரியே பல சுற்றுப்

பாதைகளும் உள்ளன. இந்தப் பல்வேறு சுற்றுப்பாதைகளின் தொகுதிகளில் (groups) ஒவ்வொன்றிலும் எலெக்ட்ரான்கள் சமசக்தியுடையதாக இருப்பதால் அவைகள் எலெக்ட்ரான்களின் வளையங்கள் என்று பொதுவாக அழைக்கப்படுகின்றன. அவை K-வளையம், L-வளையம், M-வளையம், இம்மாதிரி தனித்தனியாகக் குறிக்கப்படுகின்றன. அணுக்கருவுக்கு மிக அருகிலுள்ள K-வளையத்தில் இரண்டு எலெக்ட்ரான்களுக்கு மட்டுமே இடமிருக்கிறது. இதைக்காட்டிலும் எலெக்ட்ரான்கள் அதிகமிருந்தால், எட்டு எலெக்ட்ரான்களுக்கு இடமளிக்கவல்ல L-வளையத்திற்குள் அவை தள்ளப்படுகின்றன. இந்த 8 எலெக்ட்ரான்களும் மாறுபட்ட, ஆனால் சமசக்தியுள்ள சுற்றுப்பாதைகளில் செல்லுகின்றன. மேலும் சில எலெக்ட்ரான்கள் மீதமிருப்பின் அவை M-வளையத்திற்குள் போகவேண்டும்.

சாதாரண நிலையில், ஹைட்ரஜன் அணுவானது அதன் K-வளையத்தில் ஓர் எலெக்ட்ரானைக் கொண்டுள்ளது. ஹீலியம் அணுவானது இரண்டு எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டுள்ளபோது L, M மற்றும் இதைவிடப் பெரிய வளையங்கள் காலியாய் இருக்கின்றன. இதைவிடச் சற்று சிக்கலான லிதியம் (lithium) அணுவானது 3 எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்டுள்ளது. K-வளையத்தில் இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள்தான் இருக்கமுடியுமாதலால் ஓர் எலெக்ட்ரானானது L-வளையத்தின் வெளிப்பரப்பைச் சுற்றி அலையவேண்டியிருக்கிறது. நான்கு எலெக்ட்ரான்கள் கொண்ட பெரிலியம் (beryllium) அணுவிலிருந்து L-வளையத்திற்குள் இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள் தள்ளப்படுகின்றன. எனவே, 10 எலெக்ட்ரான்களைக்கொண்ட நியான் அணுவரை நாம் இம்மாதிரி சொல்லிக்கொண்டு செல்லலாம். இந்தச் சமயத்தில் L-வளையமும் மற்றும் அதன் உட்பாகத்திலுள்ள K-வளையமும் நிரம்பிவிடுகின்றன. அடுத்துவரும் சோடியம் அணுவிலுள்ள 11 எலெக்ட்ரான்களில் ஒன்று மேலும் அதிக தூரத்திலுள்ள M-வளையத்திற்குள் தள்ளப்படுகிறது. எலெக்ட்ரான்கள், கதிரியக்கம் அல்லது மற்ற எந்த ஊக்குவிக்கும் பொருளால் ஊக்குவிக்கப்படாதவரை ஒவ்வோர் அணுவும், அதன் எலெக்ட்ரான்கள் தங்கள் குறைந்த சக்தியுள்ள சுற்றுப்பாதைகளை ஆக்ரமித்துக் கொள்ளும் நிலைக்குக் குறைகிறது.

நமது அனுபவத்திற்கு உட்பட்டவரை, ஓர் அணுவானது, இந்த மேற்சொன்ன நிலையை அடைந்தவுடன் என்றும் அழியாத, இயங்கும் இயந்திரமாக மாறிவிடுகிறது. அதிலுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் தங்கள் இயக்க சக்தியைக் கதிரியக்கம் அல்லது மற்றெந்தவிதத்திலும் சிதறவிடாமல் (போரின் கொள்கையைப்பொறுத்தவரை) தங்கள் சுற்றுப்பாதையில் செல்லுகின்றன. இந்த நிலையிலிருக்கும் அணுவானது ஏன் தன் சக்தியை மேலும் அதிகப்படுத்திக்கொள்ளாமல் இருக்கிறது என்பது ஆச்சரியப்படத்தக்கதாகவும் புரியாததாகவும் இருக்கிறது.

ஆனால், நமது அனுபவத்தைப்பொறுத்தவரை அணு தன் சக்தியை அதிகப்படுத்திக்கொள்ள முடியாது என்றே தெரிகிறது. இந்த மேற்சொன்ன இதுவரை நாம் சரியாகப் புரிந்துகொள்ளாத தன்மையானது, கடைசியில் இந்த அண்டத்தை வாழச்செய்யக் காரணமாயிருக்கிறது. எந்தமாதிரியான ஒரு கட்டுப்பாடும் குறுக்கிடாவிட்டால் இந்த அண்டத்தின் முழுப் பொருண்மைச் சக்தியும் (whole material energy) கதிரியக்கம் என்னும் உருவில் விநாடியின் ஆயிரம் மிலியன் பாகத்தில் சிலவற்றிற்குள்ளேயே மறைந்துவிடும். சாதாரண ஹைட்ரஜன் அணுவானது, 19ஆம் நூற்றாண்டின் பௌதிக விதிகளுக்குத் தேவைப்பட்ட விதத்தில் கதிரியக்கத்தை வெளிவிடும் ஆற்றலுள்ளதாய் இருந்தால், அஃது இந்தக் கதிரியக்கத்தை வெளிவிடும் காரணத்தால், ஒரு விநாடிக்கு ஒரு மீட்டர் வீதத்தில் சுருங்குகிறது. அதன் எலெக்ட்ரானது தொடர்ந்து குறைந்த மேலும் அதற்கும் குறைந்த சக்தியுள்ள சுற்றுப்பாதைகளில் விழுந்துகொண்டேயிருக்கும். கிட்டத்தட்ட ஒரு விநாடியின் ஆயிரம் மிலியனின் ஒரு பாகத்தில், அணுவின் அணுக்கருவும் மற்றும் எலெக்ட்ரானும் ஒன்றோடு ஒன்று மோதிக்கொள்கின்றன. மேலும் கதிரியக்கத்தின் ஒரு வீச்சில் அநேகமாக முழு அணுவும் மறைந்துவிடலாம். முழு குவான்டாவினால் தவிர கதிரியக்கத்தின் மற்ற எல்லா வெளிவிடுதலையும், மற்றும் சிதறடிக்க குவான்டா இல்லாதபோது எந்த ஒரு வெளிவிடுதலையும் முழுமையாகத் தடுத்து, குவான்டா கொள்கையானது அண்டத்தை என்றும் வாழச்செய்வதில் வெற்றிபெறுகிறது.

கதிரியக்கத்தின் பொறி-விளைவுகள்
(The Mechanical Effects of Radiations)

மின் அமைப்பானது (electrical structure) பொருத்தமாயிருக்கயிருக்க அதைக் கலைக்க (to disturb) அதிக சக்தி தேவைப்படுகிறது. மேலும் ஒரு தனிக் குவான்டம் என்ற உருவில் இந்தச் சக்தியானது அனுப்பவேண்டியிருக்கிறது. குவான்டத்தின் சக்தி அதிகமாயிருக்க வேண்டியிருப்பதால் கதிரியக்கத்தின் அலைநீளமானது குறைவாக இருக்கிறது. மிகப்பொருத்தமான அமைப்பை மிகச்சிறிய அலைநீளமுள்ள கதிரியக்கத்தினால்தான் கலைக்கமுடியும்.

கடலில் செல்லும் ஒரு கப்பலின் நீளமானது அலைகளின் நீளத்திற்குச் சமமாயிருந்தால், அது சேதப்படவும், அதிலுள்ள பிரயாணிகள் அசௌகரியப்படவும் சந்தர்ப்பமிருக்கிறது. சிறிய அலைகள் சிறிய கப்பலையும், நீளமான அலைகள் நீளம் அதிகமுள்ள கப்பலையும் தொந்தரவு செய்யும். ஆனால், அலைகள் பொங்குவதனால் இரண்டுக்கும் தீங்கு ஏற்படாது. ஆனால், இது கதிரியக்கத்தின் விளைவுகளோடு ஒத்த

தன்மையுடைய இணையான (analogy) எதையும் அளிப்பதில்லை. ஏனெனில், ஒரு மின் அமைப்பைப் பிளக்கும் கதிரியக்கத்தின் அலை நீளமானது அமைப்பின் உருவத்தைவிடப் பலநூறு மடங்குகள் அதிகமுள்ளது. அந்தக் கதிரியக்கத்தின் இணை உண்மையிலேயே அலைகளின் மிகப்பெரிய பொங்குதலேயாகும் (very long swell). தோராயமாக, ஒரு மின் அமைப்பை, கிட்டத்தட்ட அதைவிட 860 மடங்கு அதிக அலைநீளமுள்ள கதிரியக்கத்தினால்மட்டுமே கலைக்கமுடியும் என்று சொல்லலாம். இந்த வரம்பைவிடக் குறைந்த அலைநீளமுள்ள கதிரியக்கத்தால்மட்டுமே இந்த அமைப்பைப் பிளக்க முடியும்.[1] சுருங்கச் சொன்னால் ஊதா ஒளி புகைப்படத் தகடுகளைப் பாதிப்பதும், ஆனால் சிவப்பு ஒளி அதை ஒன்றும் செய்யாமலிருப்பதற்கும், வெள்ளி புரோமைடின் (silver bromide) மாலிகியூலின் விட்டமானது ஊதா ஒளியின் அலைநீளத்தைவிட 860 மடங்கு நீளம் குறைவாகவும், சிவப்பு ஒளியின் அலைநீளத்தைவிட 860 மடங்கு நீளம் அதிகமாகவும் இருக்கிறது என்பதே காரணமாகும். எந்த ஒரு நிகழ்ச்சியும் நடப்பதற்கு முன்னால் இந்த 'எல்லை–860'-ன் கீழே நாம் சென்றுவிடவேண்டும்.

ஓர் அணுவானது தான் சேர்த்துவைத்துள்ள சக்தியை வெளித் தள்ளும்போது அது வெளிவிடும் ஒளியானது, அது முதன்முதலில் சக்தியைச் சேமித்துவைத்தபோது உட்கொண்ட ஒளியின் அலைநீளம் கொண்டதாகவே இருக்கவேண்டும். சக்தியின் இரு குவான்டாக்களும் சமமாயிருக்கும்போது அவைகளின் அலைநீளங்கள் ஒன்றாக இருக்க வேண்டும். எந்த ஒரு மின் அமைப்பினால் வெளிவிடப்படும் ஒளியும் அந்த அமைப்பின் பரிமாணத்தைவிட 860 மடங்கு அதிக அலைநீளம் கொண்டதாக இருக்கிறது என்று இதிலிருந்து தெரிகிறது. சாதாரண கண்ணுக்குத் தெரியும் ஒளியானது முக்கியமாக அணுக்களில் வெளி விடப்படுகிறது. எனவே, அதன் அலைநீளமானது 860 அணு விட்டங்களுக்கு (atomic diameters) சமமாக இருக்கிறது. உண்மையிலேயே, அஃது இந்த அலைநீளமுள்ளதாக இருப்பதனாலேயே நம் கண்களுக்குத்

[1] இந்த விதி ஏன் இப்படியிருக்கிறது என்பது கணித அறிஞருக்கு உடனே புரியும். சுருக்கமாக இதை இப்படிச் சொல்லலாம்: இடையே r-தூரத்தைக் கொண்ட $+e$, $-e$ ஆகிய இரண்டு மின் ஏற்றங்களைப் பிரிக்கத் தேவைப்படும் சக்தி $= \frac{e^2}{r}$. r-பரிமாணம்கொண்ட (r-dimensions) எலெக்ட்ரான்கள் மற்றும் புரோட்டான்களின் அமைப்பைப் பிளக்க அல்லது மாற்றியமைக்கத் தேவைப்படும் சக்தி இதோடு ஒப்பிடும்படியாக இருக்கிறது. தேவைப்படும் கதிரியக்கத்தின் அலைநீளமானது λ-என்றால், இந்தக் கதிரியக்கம் எடுத்துக்கொள்ளும்படி கிடைக்கும் சக்தி $\frac{hC}{\lambda}$ குவான்டமாகும். h-ன் மதிப்பானது $\frac{860\ e^2}{C}$ என்பதோடு இதைச் சேர்த்துப் பார்த்தால், கதிரியக்கத்தின் அலைநீளமானது கிட்டத்தட்ட பிளக்கப்பட வேண்டிய அமைப்பின் பரிமாணத்தைவிட 860 மடங்கு அதிகமாயிருக்கிறது.

தெரியும் ஒளியானது நம் விழித்திரையிலுள்ள (retina) அணுக்களின் மேல் கிரியை புரிகிறது. எனவே, அந்த ஒளியை நாம் காண்கிறோம். அணுவின் வெளிப்புறத்திலுள்ள எலெக்ட்ரான்களைத்தான் இந்த அலை நீளமுள்ள கதிரியக்கமானது தொந்தரவுபடுத்துகிறது. ஆனால், இதை விடக் குறைந்த அலைநீளமுள்ள கதிரியக்கமானது இன்னும் மோசமான விளைவுகளை உடையதாக இருக்கிறது. உதாரணமாக, X-கதிரியக்கமானது, அணு அமைப்பின் K-வளையம், L-வளையம் மேலும் இதைப் போன்ற அதிக தூரத்திலுள்ள உள்வளையங்களைப் பிளக்கலாம். இதை விடக் குறைந்த அலைநீளமுள்ள கதிரியக்கமானது அணுக்கருவின் எலெக்ட்ரான்கள் மற்றும் புரோட்டான்களைக்கூடப் பிளக்கலாம். ஏனென்றால், அணுக்கருக்களும் அணுக்களைப்போலவே நேர் மற்றும் எதிர்மின் ஏற்றத்தின் அமைப்புகளேயாகும். கதிரியக்கத்தில் காணப்படும் அதிக வித்தியாசத்தைத்தவிர மற்றபடி, அவை தங்கள்மேல் கதிரியக்கம் பட்டவுடன் அணுக்களின் அமைப்பைப்போலவே நடந்து கொள்ளவேண்டும். எல்லிஸ் (Ellis) மற்றும் பலரும், கதிரியக்கப் பொருளான ரேடியம் B-ன் அணுக்களின் நசிவின்போது (disintegration) வெளிவிடப்படும் γ-கதிரியக்கமானது 3·52, 4·20, 4·80, 5·13 மற்றும் 23×10^{-10} செ.மீ. அலைநீளங்களுள்ளதெனக் கண்டிருக்கிறார்கள். இந்த அலைநீளங்கள், பார்க்கக்கூடிய ஒளியின் அலை நீளத்தில் நூறு ஆயிரத்தில் ஒரு பாகமே உள்ளன. அணுவின் அணுக்கருவானது முழு அணுவின் பரிமாணத்தில் நூறு ஆயிரத்தில் ஒரு பங்கேயுள்ளது என்பதே இதன் காரணமாகும்.

இம்மாதிரியான அலைநீளங்களுள்ள கதிரியக்கமானது, எப்படி 100,000 மடங்கு அதிக அலைநீளமுள்ள கதிரியக்கமானது ஹைட்ரஜன் அணுவைப் பாதிக்கும் திறமையுள்ளதாக இருக்கிறதோ அதேபோல, ரேடியம் B அணுக்கருவைப் பாதிக்கும் திறமைகொண்டதாக இருக்கிறது. அணுவினால் உட்கொள்ளப்படும் அல்லது வெளிவிடப்படும் கதிரியக்கத்தின் அலைநீளமானது சக்தியின் குவான்டத்தின் தலைகீழ் விகிதத்தில் இருப்பதால் அணுவின் அணுக்கருவை வேலை செய்ய வைக்கத் தேவைப்படும் சக்தியைப்போல் 100,000 மடங்கு அதிகமாயிருக்கவேண்டும். ஹைட்ரஜன் அணுவானது துவாரத்தில் பென்னியைக்கொண்ட கருவியானால், கதிரியக்க அணுக்களை ஐநூறு பவுண்டு நோட்டுகளுக்குக் குறையாமல் இருந்தால்தான் வேலைசெய்ய வைக்க முடியும்.

விண்மீன்களுக்குள்ளே காணப்படும் அதிக வெப்பநிலைகளிலுள்ள பொருளானது அதிக வேகத்தோடு இயங்கும் தூள்கள் மற்றும் அதிகச் சக்திவாய்ந்த குவான்டாக்கள் ஆகியவற்றை அபரிமிதமான அளவில் கொண்டுள்ளது. ஆனால், இந்த குவான்டா மற்றும் தூள்களின் விளைவுகளை ஆராய்வதற்கு முன்னால் அவைகளின் சக்தி எப்படி

வெப்பநிலையைப் பொறுத்திருக்கிறது என்பதை நாம் கவனிக்க வேண்டும்.

வெப்பநிலைக் கதிரியக்கம் (Temperature Radiation)

நம் தினசரி வாழ்க்கையில் நாம், பொருளை வெள்ளை அல்லது சிவப்பு ஒளி வெளியிடும்வரை உஷ்ணப்படுத்தவேண்டும் என்ற பொருளில் வெள்ளை–வெப்பம் அல்லது சிவப்பு–வெப்பம் (white-heat, red-heat) என்பவற்றைப்பற்றிப் பேசுகிறோம். கார்பன்–எரிக்கம்பி விளக்கின் (carbon-filament lamp) எரிக்கம்பியானது சிவப்பு–வெப்பத்திற்கும், வாயுவால் நிரப்பப்பட்ட விளக்கானது மஞ்சள்-வெப்பத்திற்கும் உஷ்ணப்படுத்தப்படுவதாகக் கூறப்படுகிறது. நாம் எடுத்துக்கொண்ட பொருளை நாம் குறிப்பிட்டுக் கூறவேண்டியதில்லை. கார்பனானது 3000° வெப்பநிலையில் சிவப்பு ஒளியை வெளிவிட்டால், டங்க்ஸ்டன் அல்லது எந்த ஒரு பொருளும் இதே வெப்பநிலைக்கு உஷ்ணப்படுத்தப்பட்டால்தான், கார்பனைப்போலவே சிவப்பு ஒளியை வெளிவிடும். மேலும், இது மற்றெந்தக் கதிரியக்கத்தின் நிறங்களுக்கும் பொருந்தும். எனவே, ஒவ்வொரு நிறமும் மற்றும் அதேபோல் கதிரியக்கத்தின் ஒவ்வோர் அலைநீளமும் ஒரு திட்டமான (definite) வெப்பநிலையோடு தொடர்புகொண்டுள்ளன. இந்த வெப்பநிலையில்தான் ஒரு சூடான பொருளால் வெளிவிடப்படும் ஒளியை நிறமாலைக்காட்டியால் பகுக்கும்போது இத் தனிப்பட்ட நிறமானது அபரிமிதமாக இருக்கிறது. இந்தக் குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையானது அடைய ஆரம்பித்த உடனேயே, நாம் எடுத்துக்கொண்டுள்ள அலைநீளங்கொண்ட கதிரியக்கமானது அபரிமிதமானதாகிவிடுகிறது. இதைவிடக் குறைவான வெப்பநிலைகளில் இது சொல்லத்தக்க விதத்தில் அபரிமிதமாக இல்லை.[1]

எப்படி வெள்ளை–வெப்பம், சிவப்பு–வெப்பம் ஆகியவற்றைப்பற்றிப் பேசுகிறோமோ அதேபோல், சாதாரணமாக அப்படிச் செய்யாவிட்டாலும், X-கதிர் வெப்பம், γ-கதிர் வெப்பம் என்பனவற்றைப்பற்றி நாம் பேசலாம். கதிரியக்கத்தின் அலைநீளமானது குறைவாக இருக்க இருக்க அதோடு முக்கியமாகத் தொடர்புகொண்ட வெப்பநிலையும் உயருகிறது. எனவே, ஒரு பொருளை மேலும்மேலும் சூடாக்கினால் அது குறைந்த அலைநீளமுள்ள ஒளியை வெளிவிடுகிறது. அதன் ஒளியானது, வானவில்லின் சிவப்பு, ஆரஞ்சு, மஞ்சள், பச்சை, நீலம், ஊதா ஆகிய ஒவ்வொரு நிறத்தையும் எடுத்துக்கொள்கிறது. இதன்

[1] கதிரியக்கத்தின் அலைநீளம் λ, மற்றும் அதோடு தொடர்புகொண்ட (சென்டிகிரேட் டிகிரிகளில் அளக்கப்பட்ட) வெப்பநிலை T-யும், நன்கு தெரிந்த, $\lambda T = 0{\cdot}2885$ செ.மீ. டிகிரிகள் என்னும் தொடர்பால் இணைக்கப்பட்டுள்ளன.

பிறகு புற ஊதாக் கதிரியக்கம், X-கதிரியக்கம் மேலும் இதைப்போன்ற கதிரியக்கங்களை முறையே வெளிவிட ஆரம்பிக்கிறது. இந்த முழுச் சோதனையையும் சோதனைக்கூடத்தில் போதுமான வரம்புள்ள வெப்ப நிலையை நாம் செய்யச் சொல்லமுடியாது. ஆனால், இயற்கையானது நமக்கு, விண்மீன்களில் இச் சோதனையைச் செய்து காட்டுகிறது.

வெப்பத்தின் விளைவுகள் (The Effects of Heat)

சிறிய பரிமாணங்களுடைய மின் அமைப்பைப் பிளக்கக் குறைந்த அலைநீளமுள்ள கதிரியக்கமே தேவைப்படுகிறது என்பதை நாம் முன்பே பார்த்திருக்கிறோம். குறைந்த அலைநீளங்கள் அதிக வெப்ப நிலைகளோடு தொடர்புகொண்டிருப்பதால், மின் அமைப்பானது சிறியதாக இருந்தால், அதைப் பிளக்கத் தேவைப்படும் வெப்பமானது அதிகமாகும் என்று தோன்றுகிறது. மேலும், கொடுக்கப்பட்ட பரிமாணங்களுடைய ஒரு மின் அமைப்பானது வெப்பத்தின் ஆற்றலால் முதலில் எந்த வெப்பநிலையில் பிளக்க ஆரம்பிக்கும் என்பதை நாம் கணக்கிடலாம்.[1] உதாரணமாக, தோராயமாக 4×10^{-8} செ.மீ. விட்டமுள்ள ஒரு சாதாரண அணுவானது முதலில் பல ஆயிரம் டிகிரிகள் வெப்பநிலைகளில்தான் உடைக்கப்படும். நாம் முதலில் ஒரு நிலையான உதாரணத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். ·00006 செ.மீ. அலைநீளமுள்ள மஞ்சள் ஒளியானது முக்கியமாக 4800 டிகிரிகள் வெப்பநிலையோடு தொடர்புகொண்டுள்ளது. இந்த வெப்பநிலையானது சராசரி மஞ்சள் வெப்பத்தைக் குறிக்கிறது. இதற்குக் குறைந்த வெப்பநிலையில், செயற்கையாகத் தயாரித்தால்தான், மஞ்சள் ஒளியானது வெளிப்படுகிறது. ஆனால், 4800 டிகிரிகள் வெப்பநிலையிலுள்ள விண்மீன்கள், மற்றப் பொருள்கள் ஆகியவை சுயமாகவே மஞ்சள் ஒளியை வெளிவிடுகின்றன. மேலும் தங்கள் நிறமாலையின் மஞ்சள் பிரதேசத்தில் (yellow region) கோடுகளை ஏற்படுத்துகின்றன. ஏனென்றால், மஞ்சள் ஒளியானது கால்சியம் (calcium) அணுக்கள் மற்றும் அதே போன்ற மூலப்பொருள்களின் வெளிப்புறத்திலுள்ள எலெக்ட்ரான்களை வெளியேற்றுகிறது. வெப்பநிலையானது 4800 டிகிரிகள் ஆக வர ஆரம்பிக்கும்போது கால்சியம் அணுவிலுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் தொந்தரவு படுத்தப்பட ஆரம்பிக்கின்றன. ஆனால், இஃது இந்த வெப்பநிலைக்குக் குறைந்தால் நடைபெறுவதில்லை. இந்த வெப்பநிலையானது பூமியில்

1. 'எல்லை-860' என்னும் தோராய விதியில் அடங்கியிருக்கும் தொடர்போடு சற்றுமுன் கொடுக்கப்பட்ட T-க்கும் λ-க்குமுள்ள தொடர்பைச் சேர்த்தால் r-செ.மீ. பரிமாணங்கள் கொண்ட ஓர் அமைப்பானது முதலில் $\frac{1}{3000r}$ டிகிரிகள் வெப்பநிலையை அடைய ஆரம்பிக்கும்போது வெப்பக் கதிரியக்கத்தால் பிளக்கப்பட ஆரம்பிக்கிறது என்பதை நாம் காண்கிறோம்.

கதிரியக்கத்தின் பொறி விளைவுகள்

அலை நீளங்கள் (செ.மீ.)	கதிரியக்கத்தின் தன்மை	அணுவின்மேல் அதன் விளைவு	வெப்பநிலை (கீழ் வரம்பு வெப்பநிலை)	காணப்படும் இடம்
7500×10^{-8} முதல் 3750×10^{-8} வரை	பார்க்கக்கூடிய ஒளி	வெளிப்புறத்திலுள்ள எலெக்ட்ரான்களைப் பாதிக்கின்றன	3,850° முதல் 7,700° வரை	விண்மீன்களின் வளிமண்டலங்கள்
250×10^{-8} முதல் 10^{-8} வரை	X-கதிர்கள்	உள் பாகத்திலுள்ள எலெக்ட்ரான்களைப் பாதிக்கின்றன	115,000° முதல் 29,000,000° வரை	விண்மீன்களின் உள் பாகங்கள்
5×10^{-9} முதல் 10^{-9} வரை	மிருதுவான γ-கதிர்கள் (Soft γ-rays)	எல்லா அல்லது கிட்டத்தட்ட எல்லா எலெக்ட்ரான்களையும் தள்ளிவிடுகின்றன	58,000,000° முதல் 290,000,000° வரை	அடர்த்தியான விண்மீன்களின் மையத்திலா ?
4×10^{-10}	ரேடியம் B-யின் γ-கதிர்கள்	அணுக்கருவின் அமைப்பைப் பாதிக்கின்றன	720,000,000°	?
5×10^{-11}	மிகச் சிறிய γ-கதிர்கள்	......	5,800,000,000°	?

[மின்சார வில் (electric arc) மற்றும் ஏனைய செயற்கை நிபந்தனைகளைத் தவிர] அடையமுடியாததால், பூமியிலுள்ள கால்சியம் அணுக்கள் பொதுவாகத் தங்கள் குறைந்த சக்தி நிலைகளிலேயே நிலையாக அசைவற்று இருக்கின்றன.

இந்த அளவின் (scale) மறுபக்கத்தில் ரேடியம் B-யின் நசிவின் போது வெளிவிடும் γ-கதிரியக்கத்தின் மிகச்சிறிய அலைநீளமானது $3{\cdot}52\times10^{-10}$ செ.மீ. என்பதைக் கண்டிருக்கிறோம். இது 820,000,000 டிகிரிகள் வெப்பநிலையைக் குறிப்பிடுகிறது. யுரேனியத்தின் மிகச்சிறிய அலைநீளமானது $0{\cdot}5\times10^{-10}$ செ.மீ. ஆகும். இது மிக அதிகமான 5,800,000,000 டிகிரிகள் வெப்பநிலையைக் குறிப்பிடுகிறது. இதைப் போன்ற மிக பயங்கரமான வெப்பநிலைகள் அடையப்படும்போது (ஆனால் இதற்கு முன்னால் அல்ல) எப்படிக் கால்சியம் அணுக்களின் பகுதிப்பொருள் 4800° வெப்பநிலையை அடைய ஆரம்பிக்கும்போது தங்களை மாற்றியமைத்துக்கொள்கின்றனவோ அதேபோல கதிரியக்க அணுக்கருக்களின் பகுதிப்பொருள்கள் தங்களை மாற்றியமைத்துக் கொள்ள ஆரம்பிக்கின்றன. மின் அமைப்பின் மாற்றியமைத்துக் கொள்ளும் செயலானது அதைத் தாக்குவதனால்கூட விளைவிக்கப்படக் கூடும் என்று நாம் கருதினால், எலெக்ட்ரான்கள், அணுக்கருக்கள் அல்லது மாலிகியூல்களினால் தாக்குதல் எந்த வெப்பநிலையில் பலனளிக்குமோ, அது கிட்டத்தட்ட, பலனளிக்கக்கூடிய அலைநீளமுள்ள கதிரியக்கமானது முதலில் குறிப்பிடத்தக்கதாக ஏற்படும் வெப்பநிலையைப் பொறுத்திருக்கிறது. இந்த இருமுறைகளும் தோராயமாக ஒரே வெப்பநிலைகளில்தான் தொடங்குகின்றன. ஏன் பூமியில் கிடைக்கக் கூடிய எந்த வெப்பநிலையும் கதிரியக்க நசிவைத் துரிதப்படுத்தவோ அல்லது தடுத்துநிறுத்தவோ முடியாமல் இருக்கின்றன என்பதை இது விளக்குகிறது. மேற்சொன்னவை விண்மீன்களுக்கும் பொருந்தும். கணக்கிடுதலானது, இவைகள், கதிரியக்க முறைகளைப் பாதிக்கக்கூடிய வெப்பநிலைகளை உடையன அல்ல என்பதைத் தெரிவிக்கிறது.

முன் பக்கத்தில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள அட்டவணையானது பலவிதமான, அணுவின் உருமாற்றங்களை ஏற்படுத்தத் தேவையான அலைநீளங்களைக் கொடுக்கிறது. கடைசி இரண்டு பத்திகள் (columns) இவைகளுக்கு ஒத்த வெப்பநிலைகளைக் கொடுக்கின்றன. அவை நமக்குத் தெரிந்தவரை இந்த வெப்பநிலை கிடைக்கக்கூடிய இடத்தையும் காட்டுகின்றன. இந்த இரு பத்திகளும் பின்னால்வரும் அதிகாரம் 4-ல் விவரமாகக் கொடுக்கப்பட்டுள்ள விளைவுகளில் சிலவற்றை எதிர்பார்க்கின்றன. கடைசி பத்திக்கு முன்னாலுள்ள பத்தியில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள வெப்பநிலைக்குக் குறைந்த வெப்பநிலையுள்ள இடங்களில் நாம் எடுத்துக்கொண்டுள்ள உருவமாற்றமானது வெப்பத்தால் ஏற்படுத்த முடியாது. எனவே, அவை இயற்கையாகவேதான் ஏற்பட

முடியும். எனவே, இஃது ஒருபக்க முறையேயாகும் (one-way process). கிடைக்கக்கூடிய கதிரியக்கமானது அணுதுவாரக் கருவியை (slotmachine) வேலைசெய்யவைக்கப் போதுமான குறைந்த அலைநீள முள்ளதாக இல்லாததனுல், அணுக்கள் தம்மைச் சுற்றியுள்ள கதிரியக் கத்திலிருந்து சக்தியை உட்கொள்ளுவதில்லை. எனவே, குறைந்த சக்தி யுள்ள நிலைகள் இருக்குமானுல் அந் நிலைகளை இவ்வணுக்கள் தொடர்ந் தாற்போல் அடைகின்றன.

வெப்ப அணுக்கரு இயக்கம்
(Thermo-Nuclear Reactions)

நம்முடைய விளக்கத்தை முடிக்கக் கதிரியக்கம் மற்றும் பொருளின் உட்கிரியை (interaction) மட்டுமல்லாமல் ஒரு பொருளுக்கும் மற்றொரு பொருளுக்கும் இடையே ஏற்படும் உட்கிரியையும் சர்ச்சைக்கு எடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். முக்கியமாக நாம் வானநூலின் நிபந்தனைகளுக்கு உட்பட்டு ஏற்படக்கூடிய மற்றும் குறிப்பாக விண்மீன்களின் சூடான உள்பாகங்களில் ஏற்படும் கிரியைகளை விவாதிக்கவேண்டும். இங்கே குறிப்பிடும் வெப்பநிலைகள் சோதனைக்கூடத்தில் அடையக்கூடிய வெப்பநிலைகளுக்கு மிக அப்பாற்பட்டதாக இருப்பதால் பலவிதங்களில் நமக்கு உதவிபுரிய கொள்கையைத் தவிர வேறெதுவுமில்லை.

ஆயினும், பல சோதனைகளால் நன்ருக நிரூபிக்கப்பட்ட உண்மை களின் அடிப்படையின்மேல் நம் கட்டடத்தைக் கட்டமுடியும். 1920-ல் ரூதர்ஃபோர்ட் என்பவர் ஒளி அணுக்களை மிக வேகமாக நகரும் α-தூள் களால் தாக்கி (பக்கம் 129) நேரடியான தாக்குதல்கள் அணுவின் அணுக்கருக்களை, உதாரணமாக ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவை ஆக்சிஜன் அணுக்கருவாக மாற்றமுடியும் என்று கண்டார். இந்தச் சோதனை களில் α-துகள்களானவை சாதாரணக் கதிரியக்க நசிவினுல் அடையப் பட்டன. ஆனுல், பொருத்தமான நிபந்தனைகளின் கீழ் இந்தத் துகள் கள் தாமாகவே வாழமுடியும். ஏனென்ருல், அவைகள் ஹீலியம் அணுக் களின் அணுக்கருக்களேயாகும். மேலும் விண்மீன்களின் உட்பாகத்தி லுள்ள அதிக வெப்பநிலைகளில் நாம் இப்பொழுது எடுத்துக் கொண்டுள்ள வெப்ப விளைவுகள் ஒவ்வொரு ஹீலியம் அணுவையும் இரண்டு எலெக்ட்ரான்களாகவும் ஒரு α-துகளாகவும் பிளக்கும். விண் மீன்களின் உட்பாகத்தில் காணப்படும் வெப்பநிலைகளில் இந்த α-துகள்களானவை, ரூதர்ஃபோர்ட் உபயோகித்த α-துகள்களின் வேகத்தோடு ஒப்பிடக்கூடிய வேகத்தில் நகருகின்றன. எனவே, அவை மற்ற அணுக்கருக்களின்மேல் மோதும்போது ஒரே விளைவுகளைத்தான் ஏற்படுத்தும் என்று நாம் எதிர்பார்க்கலாம். எனவே, இயற்கையானது தானே, ரூதர்ஃபோர்டின் சோதனையைமட்டுமல்லாமல், மேலும் பல

வற்றை விண்மீன்களின் சூடான உட்பாகங்களில் செய்துகாட்டவேண்டும். இச் சூடான விண்மீன்களில் உள்ள பிரதேசங்கள் ரசவாதிகளின் சோதனைச்சாலைகளாகிவிடுகின்றன. அவற்றிலுள்ள அணுக்களின் அணுக்கருக்கள் பலவிதமான புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள், டியூடிரான்கள் (deuterons), ✓-துகள்கள் மற்றும் இன்னும் சிக்கலான அணுக்கருக்கள் முதலிய எறிபொருள்களால் தாக்கப்படும்போது இச் சோதனைச்சாலைகளிலுள்ள இரசாயன மூலப்பொருள்கள் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றாக மாறிக்கொண்டேயிருக்கின்றன. இதைப்போன்ற கிரியைகள் 'வெப்பக்கரு இயக்கம்' என்று அழைக்கப்படுகின்றன. இதை அடக்கியாளும் விதிகளை அட்கின்சன் (Atkinson), ஹொட்டர்மான்ஸ் (Houtermanns), கேமௌ (Gamow), டெல்லர் (Teller) மற்றும் பல ஆய்வாளர்களால் ஆராயப்பட்டிருக்கின்றன. பல நிகழ்ச்சிகளில் ஒரு கிரியையானது வெப்பநிலை மாற்றங்களால் மிகவும் தூண்டப்படுவதால் ஏதாவது ஒரு நிலையான வெப்பநிலையோடு அதைத் தொடர்பு கொள்ளச் செய்யலாம். எனவே, இந்த வெப்பநிலைக்குக் குறைந்தால் கிரியையானது எடுத்துக்கொள்ளத்தக்க அளவில் நடைபெறவில்லையென்றும், அந்த அல்லது அதற்குக் கிட்டத்தட்டச் சமமான வெப்பநிலையில் சாதாரண அளவில் கிரியை நடக்கிறது என்றும் இதற்கு மேற்பட்ட வெப்பநிலைகளில் அதிக அளவில் கிரியை நடக்கிறது என்றும் எடுத்துக்கொள்வதில் அதிகத் தவறொன்றுமில்லை.

எந்த ஒரு குறிப்பிட்ட கிரியைக்கும் மேற்சொன்ன சரியான வெப்பநிலையானது முதலில் கிரியைபுரியும் அணுக்கருக்களின் ஏற்றங்களை அதாவது அதில் அடங்கியுள்ள பொருள்களின் அணு எண்களைப் பொறுத்திருக்கிறது. இது புரோட்டான்களுக்கும் மிக எளிதான அணுக்கருக்களுக்கு மிகக்குறைவாக உள்ளது. அணுக்கருக்கள் சிக்கலாக மாறமாற இந்த வெப்பநிலை மிக வேகமாக அதிகரிக்கிறது. இது தோராயமாக அணு எண்களின் வர்க்கத்தின் விகிதத்தில் மாறுகிறது. உதாரணமாக, ஒரே ஒரு புரோட்டான் பங்குகொள்ளும் கிரியைக்கு ஏற்ற வெப்பநிலையானது ஒரு ✓-துகள் பங்குகொள்ளும் அதேபோன்ற கிரியைக்கு ஏற்ற வெப்பநிலையைப்போல் நான்கு மடங்கு அதிகமாகும்.

மிகக்குறைந்த வெப்பநிலைகளில் ஏற்படும் கிரியையானது, ஒரு புரோட்டான் மற்றொன்றோடு மேற்கொள்ளும் எளிய கிரியையாகும். இரு புரோட்டான்களும் சேர்ந்து பொருண்மை இரண்டு கொண்ட ஹைட்ரஜன் ஐசோடோப்பின் அணுக்கருவாக அல்லது டியூடிரானாக மாறுகிறது (பக்கம் 126). மற்றும் அப்போது கொஞ்சம் நேர் மின்சாரம் அதிகப்படுவதால், ஒரு பாசிட்ரானானது வெளியேற்றப்படுகிறது (பக்கம் 138). இதற்குப் பிறகு டியூடிரானானது மேலும் இரண்டு புரோட்டான்களைக் கைப்பற்றி ஒரு ஹீலியம் அணுக்கருவாக மாறலாம்.

3-லிருந்து 7 மில்லியன் டிகிரிகள் வெப்பநிலைகளில் அடுத்தபடியாக வருவது லிதியம், பெரிலியம் மற்றும் போரான் (boron) முதலிய இலேசான அணுக்கருக்களோடு ஒரு புரோட்டானின் கிரியைகளாகும்.

இதற்குப் பிறகு, 20 மில்லியன் டிகிரிகள் வெப்பநிலையில், ஒரு புரோட்டான் ஒரு கார்பன் அணுக்கருவோடு மேற்கொள்ளும் கிரியை வருகிறது. இவைகள் ஒன்றுசேர்ந்து, பொருண்மை 13 கொண்ட நைட்ரஜன் அணுக்கருவாக மாறுகின்றன. ஆனால், இது நீளமான தொடர்ச்சிகள் கொண்ட முறைகளின் ஆரம்பமேயாகும். நைட்ரஜன் அணுக்கருவானது இன்னொரு புரோட்டானைக் கைப்பற்றிக்கொண்டு பொருண்மை 14 கொண்ட சாதாரண நைட்ரஜன் அணுக்கருவாக மாறி விடலாம். மேலும் ஒரு மூன்றாவது புரோட்டானோடு சேர்ந்து பொருண்மை 15 கொண்ட நைட்ரஜன் அணுக்கருவாக மாறலாம். இதேபோல் இது மேலும் ஒரு நான்காவது புரோட்டானைக் கைப்பற்றிக் கொள்ளலாம். ஆனால், இது 16 பொருண்மை கொண்ட நைட்ரஜன் அணுக்கருவாக மாறமுடியாது. ஏனெனில், அம்மாதிரியொன்றும் உயிர் வாழ்வில்லை. ஒருசில நிகழ்ச்சிகளைத்தவிர மற்ற எல்லாவற்றிலும், இந்தச் சேர்க்கையானது பொருண்மை 12 கொண்ட கார்பன் அணுக்கருவாகவும், மற்றும் ஒரு ஹீலியம் அணுக்கரு அல்லது பொருண்மை 4 கொண்ட ஒரு α-துகளாகவும் தன்னை மாற்றியமைத்துக் கொள்ளலாம். சுருங்கக் கூறினால், ஒன்றின்பின் ஒன்றாக இம்மாதிரி புரோட்டான்களைக் கைப்பற்றுதல் முதலில் ஒரு கார்பன் அணுக்கருவை, நைட்ரஜன் ஐசோடோப்புகளின் தொடரில் (sequence) இந்தமாதிரி பாதையானது முடிவுபெறும்வரை மாற்றியமைக்கிறது. இந்த அமைப்பானது பிறகு, தான் தோன்றிய கார்பன் அணுக்கருவின் உருவத்தை அடைகிறது. அஃது எடுத்துக்கொண்ட எல்லாப் புரோட்டான்களும், ஒரு ஹீலியம் அணுக்கருவாக வெளியே தள்ளப்படுகின்றன.

உண்மையில், இரண்டு விதங்களில் இந்த முறைகளின் தொடரை நம்முடைய விவாதமானது மிக எளிதாக்குகிறது. பொருண்மை 13 கொண்ட நைட்ரஜனின் அணுக்கருவானது இரண்டாவது புரோட்டானை நேரடியாகக் கைப்பற்றுவதில்லை. ஆனால், அது முதலில் இயற்கையாகவே பொருண்மை 13 கொண்ட கார்பன் அணுக்கருவாகவும், ஒரு பாஸிட்ரானாகவும் பிரியவேண்டும். இதன்பிறகு கார்பன் அணுக்கருவானது புரோட்டானைக் கைப்பற்றுகிறது. இதன்மூலம் அது பொருண்மை 14 கொண்ட நைட்ரஜன் அணுவாக மாறுகிறது. இதே போன்ற முறையில், மூன்றாவது புரோட்டானைக் கைப்பற்றிய உடனேயே அது பொருண்மை 15 கொண்ட நைட்ரஜன் அணுவாக மாறிவிடுவதில்லை. முதலில் தோன்றும் பொருளானது பொருண்மை 15 கொண்ட ஆக்சிஜனின் அணுக்கருவாகும். ஆனால், இஃது உடனடியாகப்

பொருண்மை 15 கொண்ட நைட்ரஜன் அணுக்கருவாகவும் ஒரு பாஸிட்ராஞகவும் அமைகிறது.

நான்கு புரோட்டான்கள் சேர்ந்து ஒரு ஹீலியம் அணுக்கருவாக மாறுகின்றன என்பதே இதன் முடிவான விளேவாகும். முன்பே நாம் கண்டபடி (பக்கம் 145) சக்தி தன்னுேடு எடுத்துச் செல்லும் 0·0280 அலகுகள் அணு எடையானது இந்த முறையில் (process) வெளி விடப்படவேண்டும். நிீனக்கமுடியாத விதத்தில், ஒரு விஞடிக்கு மில்லியன் மில்லியன் தடவைகள் வீதம் இந்த முறையைத் திரும்பத் திரும்பச் செய்வதானது சூரியன் மற்றும் விண்மீன்களின் (அநேகமாக) கதிரியக்கத்தின் முழுப்பகுதிக்கும் சக்தியைக் கொடுக்கிறது என்பதை நாம் அடுத்துக் காணலாம்.

3. கால ஆராய்ச்சி

நாம், தொலைநோக்கியால் காணக்கூடிய தொலைவுவரை வான வெளியை ஆராய்ந்துவிட்டோம். பேரண்டத்தை ஆக்கிய மிகச்சிறிய அளவான அணுக்களின் அமைப்பைப்பற்றி நுட்பமாகக் கண்டறிந்தோம். மனிதனின் வாழ்க்கைக்காலம் சரித்திரரீதியில், சில ஆயிர வருடங்களளவிலே உள்ளது. இது நம் தேவைக்குப் போதாது. கடந்தகாலத்தையும் எதிர்காலத்தையும் நன்கு ஆராய இதைவிடப் பெரிய ஓர் அளவுகோல் வேண்டும்.

நம் பொதுமுறை, புவி உட்புறவியலில் கையாளும் முறையாகும். சரித்திரரீதியாக யாதாயினும், புவியில் கிடைக்கும் பழம்பொருள்களைக் கொண்டு அதன் காலம் பல மிலியன் வருடங்களாகத்தான் இருக்கும் என்று முடிவு கட்டுகிறார்கள். புவியின் மேற்புறத்தைச்சுற்றிப் புவியியல் அறிஞர் இட ஆராய்ச்சி செய்வதுபோல், புவி உட்புறவியல் அறிஞர் காலத்தை ஆராய்கிறார். இந்தமாதிரியான முறையை வானநூல் அறிஞரும் பயன்படுத்தலாம். ஓர் 'அவர் கிளாஸில்' (hour glass) பாதி கீழோ, பாதி மேலோ மணல் குறைவை ஆராய்வதுபோல், சில உண்மைகளை வானநூலுக்கு ஏற்றவகையில் ஆராயலாம். இது (புவி) எந்த வேகத்தில் இப்பொழுது மாறிக்கொண்டிருக்கிறது என்றோ, கடந்தகாலத்தில் எவ்வாறு மாறியிருக்கிறது என்றோ கண்டறியலாம். இனி, இது கணக்காகவே ஆய்விடுகிறது. சிறிது கடினமான கணக்காகிலும், இந்த மாறுதல் எப்பொழுது ஆரம்பித்தது என்பதை நிர்ணயித்துவிடலாம்.

புவியின் வயது

புவியின் வயதை நிர்ணயிக்கும் விதம் ஓர் எளிய முறையாகும்.

புவியின் வயதை நிர்ணயிப்பதில் முதன்முதலில் (1715ஆம் ஆண்டு) ஈடுபட்டவர் ஹேலி என்ற வானநூலறிஞராவர். ஒவ்வொரு

நாளும் ஆறுகள் நீரைக் கடலுக்குக் கொண்டுசேர்க்கிறது. இதில் உப்பு கரைந்திருக்கிறது. நீர் ஆவியாகி மறுபடியும் ஆற்றுக்கு (நதிக்கு) வந்துவிடும். ஆனால், உப்பு அப்படியே இருக்கும். இதேமாதிரி நாளுக்கு நாள் கடலில் உப்பு அளவில் அதிகரித்துக்கொண்டே போகும். இதனால் தற்போதைய இந்த அளவைக்கொண்டு எத்தனை காலமாக இது சேர்ந்திருக்கவேண்டும் என்று நிர்ணயிக்கலாம். ‘இந்த முறையைப்போலவே ஆராய்ந்து பல பொருள்களின் கால அளவை நிர்ணயித்துவிடலாம்’ என்று ஹேலி மிகவும் நம்பிக்கையுடன் கூறினர்.

இந்த வழியில் புவியின் வயதைச் சரியாகக் கண்டுபிடிக்கமுடியாது. இருந்தாலும், தற்கால அளவைக்கொண்டே இது பல நூறு மிலியன் வருடங்களிருக்கலாம் என்று கணக்கிட்டிருக்கிருர்கள்.

புவி உட்புறவியல் ‘அவர் கிளாஸ்’ (The Geological Hour Glass)

மழையால் அடித்துத் தள்ளப்பட்ட வண்டலிலிருந்து அநேக தகவல்களை அறியலாம். ஒவ்வொரு வருடமும் புவி சமப்படுத்தப்படுகிறது. மலையிலிருந்த வண்டல் மழையினுல் அடித்து நதியில் தள்ளப்பட்டு இங்கிருந்து கடலில் சேர்க்கப்படுகிறது. தேம்ஸ் (Thames) நதிமட்டும் ஆண்டுக்கு ஒன்று அல்லது இரண்டு மிலியன் டன் வண்டலை அடித்துச் செல்லுகிறது. இப்படி இருந்தால் இங்கிலாந்து தேசம் இன்னும் எத்தனை காலம் இருக்கும். இதற்குமுன் எத்தனை காலம் இருந்திருக்கும்? நம் காலங்களிலேயே பெரிய நிலத்திட்டுகள், கடற்கரைகளிலே சேர்க்கப்பட்டும், கடலிலேயே சேர்க்கப்பட்டும் வருவதைக் கண்டிருக்கிறோம். நீடில்ஸ் (Needles) என்ற பகுதியும், வைட் தீவின் (Isle of Wight) தென்கரையில் பெரும்பகுதியும் மறைந்துவருகின்றன. இந்த நிகழ்ச்சியைப் புவி உட்புறவியல் அறிஞர்கள் ஆராய்ந்து குறிப்பிட்ட திட்டுகள் ஏற்பட எவ்வளவு காலமாகும் என்பதைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

இந்தத் திட்டுகளின் உயரங்கள் மிக அதிகம்; பேரறிஞர் ஆர்தர் ஹோம்ஸ் (Professor Arthur Holmes) என்பவரால் கணக்கிட்டளிக்கப்பட்ட அதிகபட்ச உயரங்கள் பின்வருமாறு :

காயினோஸாயிக் காலம் (தற்கால வாழ்க்கையில்) (Cainozoic Era, modern life) ...	73,000 அடிகள்
மெஸோஸாயிக் காலம் (மத்திய காலம்) (Mesozoic Era, mediaeval life) ...	91,000 ,,
பாலியோஸாயிக் காலம் (பண்டைக் காலம்) (Palaeozoic Era, ancient life) ...	185,000 ,,

ப்ரீ-காம்ப்ரியன் காலம் (இன்னும் பழமையான காலம், ஆரம்ப காலம், வாழ்க்கை ஆரம்பமான காலம்) (Pre-cambrian Eras, still earlier life, primaeval life, and dawn of life) குறைந்த பட்சம்	180,000 அடிகள்
மொத்தம் (at least) ...	529,000 ,,

எந்த வேகத்தில் இந்த வண்டல் சேகரிக்கப்படுகின்றது என்பதைக் கண்டுபிடிக்கலாம். ராமெஸெஸ் II (Rameses II) என்பவர் எகிப்து தேசத்தை 3000 ஆண்டுகளுக்குமேல் ஆண்டு வந்தார். ஆகையினால், மெம்ஃபிஸில் (Memphis) 400 அல்லது 500 ஆண்டுகளுக்கு ஒருமுறை வண்டல் 1 அடி உயர்த்தப்பட்டிருக்கின்றது. ஆகையினால், ஒரு குடையும் இயந்திரம் (excavator) ராமெஸெஸ் காலத்திய எகிப்தைப் பார்க்க வேண்டுமென்றால் அந்த இடத்தில் புவியை 6 அல்லது 7 அடிகள் வரை தோண்டவேண்டும். இருப்பினும் இதில் ஓர் அடி மண் சில அங்குல அளவில்தான் பாறையாக மாறுகிறது. ஓர் அடி பாறை ஏற்படுவதற்குப் பல ஆயிரம் ஆண்டுகளாகும்.

1000 ஆண்டுகளுக்குச் சராசரி ஓர் அடி வீதம் மேலே கொடுக்கப் பட்ட 529,000 அடிகளுக்கு 500 மிலியன் ஆண்டுகளாகும். 4000 ஆண்டுகளுக்கு 1 அடி வீதம் வண்டல் சேர்க்கப்பட்டால் சுமார் 2100 மிலியன் ஆண்டுகளாகும். தேயுறுதலினால் கிடைக்கப்பட்ட முடிவுகளும் இதைப்போலவேதான் உள்ளன.

இவ்வாறு புவி உட்புறவியல் சார்பாக நிர்ணயிக்கப்படும் கால அளவு முறையைப் புவி உட்புறவியல் 'அவர் கிளாஸ்' என்று சொல்லு வார்கள். இதுவரை எவ்வளவு மணல் கடத்தப்பட்டது, என்ன வேகத் தில் கடத்தப்பட்டது என்பதை நிர்ணயித்து அதிலிருந்து முதல் முதலில் எப்பொழுது மணல் அடித்துச் செல்லப்பட்டது என்பதைக் கணக்கிடலாம். எல்லா 'அவர் கிளாஸி'ல் உள்ள குறைபாடு இந்த முறையிலும் இருக்கின்றது. ஏனென்றால், எப்பொழுதும் மணல் சமவேகத்தில் கடத்தப்பட்டது என்பதை நிச்சயமாகச் சொல்ல முடியாது. புவி, பல நூறு மிலியன் ஆண்டுக்கால வயதுடையது என்பதற்குப் புவி உட்புறவியல் முறைகள் போதியதாக இருக்கலாம். ஆனால், இன்னும் சரியானபடி இதை நிர்ணயிக்கவேண்டுமானால் பௌதிகம், வானநூல் இவைகளின் முறைகளைப் பயன்படுத்த வேண்டும். கதிரியக்க (radio active) அணுக்கள் என்பன (முன் அதிகாரத்தில் கூறப்பட்ட) மேற்சொன்ன 'அவர் கிளாஸை'விடச் சிறந்ததாக அமைகின்றன. இந்த முறை சிறந்த கடிகார முறை

என்றே சொல்லலாம். ஏனென்றால், ஒரு காலத்திலிருந்து மற்றொரு காலத்தில் வேகம் ஒரு மயிரிழைகூட மாறுவதில்லை.

கதிரியக்கக் கடிகாரம் (Radio-Active Clock)

தகுந்த காலம் கடந்தால் ஓர் அவுன்ஸ் யுரேனியம் 0·865 அவுன்ஸ் ஈயமாகவும், 0·135 அவுன்ஸ் ஹீலியமாகவும் பிரிந்துவிடும் என்பதைப் பார்த்தோம். இந்தப் பிரிவு சுயமானதாகும். பேரண்டத்திற்குள் தெரிந்த எந்தப் பௌதிக முறைகளும் இந்த வேகத்தை அதிகப் படுத்தவோ குறைக்கவோ முடியாது. கீழே கொடுக்கப்பட்ட அட்ட வணையில் இந்த வேகத்தைக் காணலாம்.

ஓர் அவுன்ஸ் யுரேனியத்தின் சரித்திரம்

முதலில்	... 1 அவுன்ஸ் யுரேனியம்	ஈயம் கிடையாது
100 மிலியன் ஆண்டு களுக்குப் பிறகு	... 0·985 அவுன்ஸ் யுரேனியம்	... 0·013 அவுன்ஸ் ஈயம்
1000 ,,	... 0·865 ,,	... 0·116 ,,
2000 ,,	... 0·747 ,,	... 0·219 ,,
3000 ,,	... 0·646 ,,	... 0·306 ,,

இப்படியாக ஒரு சிறிதளவு யுரேனியம் சரியான கடிகாரமாக விளங்குகிறது. புவி, முதன்முதலில் கெட்டிப்படும்போது யுரேனியம் துண்டுகள் ஏராளமாகப் பாறைகளில் அடைக்கப்பட்டுவிட்டன. இவை களைக்கொண்டு புவியின் வயதைக் கூறிவிடலாம். இதனால், யூரேனியத் துடன் சேர்ந்திருக்கும் ஈயம் முழுவதும் கதிரியக்கச் சிதைவினால் ஏற்பட்டது என்று சொல்வது சரியாகாது. அதிர்ஷ்டவசமாக, யுரேனியத்திலிருந்து சிதைவினால் ஏற்பட்ட ஈயம் சாதாரண ஈயத்தை விடச் சற்று வித்தியாசமாக இருக்கின்றது. இரண்டாவது கூறப்பட்ட வகை 207·2 அணு எடை உடையதாயும், முதலில் கூறப்பட்ட வகை 206·0 அணு எடை உடையதாயும் இருக்கின்றன. கதிரியக்கப் பாறை களை இரசாயன சோதனை செய்தால், இதில் எவ்வளவு சாதாரண ஈயம் என்றும், எவ்வளவு கதிரியக்கச் சிதைவினால் ஏற்பட்டது என்றும் கண்டுபிடித்துவிடலாம். இதில் இரண்டாவது வகை ஈயத்தை, எவ்வளவு இருக்கின்றது என்று நிர்ணயித்து, இதிலிருந்து இந்தச் சிதைவு எவ்வளவு காலமாக ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்பதை அறியலாம்.

புவி உட்புறவியல் வகையில் ஒரேவகையைச் சேர்ந்த பாறை அடுக்குகளில் பல மாதிரிகளை எடுத்து சோதனை செய்ததில் ஒரே முடிவு தான் கிடைத்தது. ஆகையினால், இந்தப் பாறை அடுக்குகள் ஏற்பட்டதி லிருந்து எவ்வளவு காலமாயிற்று என்பதைக் கணக்கிடலாம். இதி

லிருந்து, ஏற்கெனவே கிடைத்த பழம் பாறை அடுக்குகளுடன் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கும்பொழுது பின்வரும் அட்டவணை கிடைக்கின்றது :

	காலம் மிலியன்களில்	மொத்தம் ஆண்டுகள்
காயினேஸாயிக் அல்லது தற்கால வாழ்க்கை (கருப்பை உயிர்கள், பல்லில்லாப் பறவைகள், பூக்கள்)	60	60
மெஸோஸாயிக் அல்லது மத்தியகால வாழ்க்கை (ஊர்ந்துசெல்லும் உயிர்கள், பல்லுடைய பறவைகள்)	140	200
பாலியோஸாயிக் அல்லது பழமையான காலம் (கடல்மீன்கள், புவியில் தாவர வகை)	400 (?)	600 (?)
ப்ரீ-காம்ப்ரியன் (ஆதிவாழ்க்கை)	400 (?)	1000 (?)

இந்தவகையில் புவியில் வாழ்க்கைக் காலத்தை 300-லிருந்து 1000 மிலியன் ஆண்டுகள்வரை வைக்கலாம். புவியின் வயதை நிர்ணயிப்பது இன்னும் கடினமாகும். நமக்குக் கிடைக்கப்பட்ட பாறைகளில் மிகப் பழமையானது 1750 மிலியன் ஆண்டுக் காலத்தினதாகும். ஆகையினால், புவி இறுக எடுத்துக்கொண்ட காலம் குறைந்தது இவ்வளவாகும். கதிரியக்கக் கடிகாரம், புவி இதற்குமுன் பிளாஸ்டிக், திரவ வடிவத்தில் எத்தனைகாலம் இருந்தது என்பதுபற்றிச் சொல்லமுடியவில்லை. ஏனென்றால், இந்த முற்காலத்தில், சிதைபொருள்கள் ஒன்றைவிட்டு ஒன்று பிரிக்கப்பட்டிருக்கும். ஆகையினால், நமக்கு வேண்டிய தகவல்களை இதர முறைகளில் கண்டுபிடிக்கவேண்டும்.

யுரேனியத்திற்கு, ஆக்டினோ-யுரேனியம் (actino-uranium) என்ற ஐஸோடோப் (isotope) உண்டு. யுரேனியமும், ஐஸோடோப்பும் அழிவுறும் காலம் வெவ்வேறு ஆகையினால் இவைகளின் அளவு மாறிக்கொண்டே இருக்கும். இந்தப் பொருள்கள் தற்போது புவியில் இருக்கும் அளவுகளிலிருந்து, ரூதர்ஃபோர்டு (Rutherford) என்பவர், புவியின் வயது 3400 மிலியன்களுக்குமேல் இருக்கமுடியாது என்று கணக்கிட்டிருக்கிறார். இஃது இதற்குக் குறைவாக இருக்கலாம்.

இதர மதிப்பீடுகள் இதைவிட அதிகமாகத்தான் இருக்கின்றன. ஈயத்திற்கு, 203-லிருந்து 210 வரை அணு எடைகள் உள்ள ஐஸோடோப்புகள் இருக்கின்றன. இவை, யுரேனியம், ஆக்டினியம் இவைகளின் கதிரியக்கப் பிளவினால் ஏற்படுகின்றன. ஒப்பிடும்வகையில் பல

ஐஸோடோப்புகளின் அளவுகளிலிருந்து எஸ். மேயர் (S. Meyer) என்பவர் புவியின் வயது சுமார் 4600 மிலியன் ஆண்டுகளென்று கணக்கிட்டிருக்கிருர். இதைப் பிறகு, காக்கி (Kocky) என்பவர் 5300 மிலியன் ஆண்டுகளாகத் திருத்தியிருக்கிருர். புவியின் வயது இதை ஒரு கோளாகக் கருதும் அளவு, இன்னும் குறைவாகத்தான் இருக்கும்.

மறுபடியும், இக்னியஸ் (igneous) பாறையில் பல மிலியன் கிராம்களில் 7·5 கிராம் ஈயமும், 6 கிராம் யுரேனியமும், 15 கிராம் தோரியமும் இருக்கின்றன என்று கணக்கிடப்பட்டிருக்கின்றது. இதிலிருந்து, இந்த ஈயம் முழுவதுமே கதிரியக்கப் பொருளாக இருந்தாலும் புவியின் வயது 3000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்கு மேலிருக்க முடியாது என்று ரஸ்ஸல் (Russell) என்பவர் கணக்கிட்டிருக்கிருர். உண்மையில் இஃது இன்னும் குறைவாகத்தான் இருக்கவேண்டும். ஏனென்ருல், ஒருவேளை ஈயத்தில் சிலபகுதி கதிரியக்க ஈயமாக இருக்காது. இன்னும், புவி ஞாயிற்றினின்றும் பிரிவதற்குமுன்பே கதிரியக்க ஈயத்தில் ஒருபகுதி ஏற்பட்டிருக்கலாம் என்பது ஒரு காரணமாகும்.

பூமி இறுகிய பிறகு கடந்துபோன காலம் எவ்வளவு என்ற பூத அளவை கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் காணலாம் :

கதிரியக்கக் கடிகாரத்தின்படி புவியின் வயது

(1) கதிரியக்கப் பாறையில் ஈயம்-யுரேனியம் இவைகளின் அளவுகளிலிருந்து	1750 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குமேல்
(2) யுரேனியம், ஆக்டினோ-யுரேனியம் இவைகளின் அளவுகளிலிருந்து	3400 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குக்கீழ்
(3) ஈயத்தின் ஐஸோடோப்பிலிருந்து	5300 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குக்கீழ்
(4) எரிபாறைகளில் உள்ள ஈயத்திலிருந்து	3000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குக்கீழ்

ஞாயிற்றுக் குடும்பம் ஆரம்பித்ததிலிருந்து இதுவரை கடந்த காலத்தை நிர்ணயிக்கப் பலமுறைகள் உள்ளன. இதற்குத் தகுந்த கடிகாரங்கள் கோள்கள், துணைக்கோள்கள் இவைகளின் சுற்றுப்பாதைகளேயாகும். இங்கு, சுற்றுப்பாதைகள் ஒரு குறித்த விதிப்படி மாறுகின்றன. ஒரே ரீதியானவகையில் மாறுவதில்லை. ஆகையினுல், கணக்கறிஞர் இதன் மாறும் வேகத்தைக் கண்டுபிடித்துவிடலாம். இவைகளெல்லாவற்றையும் கூட்டினுல் தற்போதைய நிலையடைவதற்கு எத்தனை காலமாகியிருக்கும் என்பதைக் கண்டுபிடித்துவிடலாம். அடுத்த பக்கத்தில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள இரண்டு கணக்குகளும் எச். ஜெஃப்ரீஸ் அவருடையது.

வானநூல் கடிகாரத்தின்படி ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் வயது

(1) புதனின் சுற்றுப்பாதையிலிருந்து { 1000 முதல் 10,000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குள்

(2) சந்திரனின் சுற்றுப்பாதையிலிருந்து { சுமாராக 4000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குள்

வீழ்மீன் கற்களின் (meteoric stones) ரேடியோ கதிரியக்கத் தன்மை மற்றொரு கடிகாரமாக விளங்குகிறது. பேனத் என்பவரும், மற்றவர்களும் இம்மாதிரியான கற்கள் பலவற்றை எடுத்துக்கொண்டு அவைகளின் கதிரியக்கக் கலப்பிலிருந்து, 110 மிலியன் ஆண்டுகளிலிருந்து 7000 மிலியன் ஆண்டுகள்வரை இவ் வயது இருக்கலாம் என்று முடிவுகட்டியிருக்கின்றனர். மேற்சொன்ன வீழ்மீன் கற்கள் ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தைச் சேர்ந்தனவே என்று முடிவாகத் தெரிந்தால், இதிலிருந்து இக் குடும்பத்தின் பொருள்களின் வயது 7000 மிலியன் ஆண்டுகளே எனச் சொல்லலாம்.

இந்தக் கணக்குகள் எல்லாம் புவியின் வயதைப்பற்றி (ஒரு கோளாகக் கருதும்போது) சரியான தகவல்களைக் கொடுக்காவிட்டாலும் இது பல மிலியன்கள் அளவில் இருக்கவேண்டும் என்று தெரிவிக்கின்றது. சரியான முழு எண் வேண்டுமென்றால், இந்த வயதை (புவியின் வயதை) 3000 மிலியன் ஆண்டுகள் எனச் சொல்லலாம். புவியிலுள்ள பொருள்கள் இதற்குமுன் பலகாலங்கள் இருந்திருக்கவேண்டும்.

ஞாயிற்றின் கதிரியக்கம்

300 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குமுன் ஏற்பட்ட கற்களைப் புவி உட்புறவியல் முறைப்படி ஆராய்ந்ததில், இஃது இந்தக்காலம் முழுவதிலுமே கதிரியக்கத்தை வெளியிட்டிருக்கவேண்டும் எனத் தெரிகிறது. அதுவும் ஒரே அளவில், வானநூல் முறைப்படி ஆராய்ச்சி நடத்தியதில், இந்தக் கதிரியக்கத்தின் அளவு, புவியின் தற்போதைய வாழ்க்கைக் காலமாகிய 3000 மிலியன் ஆண்டுகள் முழுவதிலுமே இவ்வாறு இருந்திருக்கவேண்டும் எனத் தெரிகிறது.

நம் முன்னோர்கள் இதைப்பற்றிச் சிந்தித்தாலும், ஒளி, வெப்பம் இவை, அதிக அளவில் வெளியிடப்படுவதைப்பற்றி ஒன்றும் கருதக்கூடியதாக இல்லை என்றுதான் நினைத்தனர். ஆற்றல் சேமிப்பைப்பற்றியும், இஃது எவ்வளவு காலமாக இருந்தது என்பதைப்பற்றியும் சரியான கருத்து ஒன்றும் இவர்களுக்கு இருந்ததாகத் தெரியவில்லை. போன நூற்றாண்டின் மத்தியில்தான் இதைப்பற்றிய ஆற்றல் சேமிப்பு விதியை (principle of conservation of energy) அறிந்தனர். ஞாயிற்றின் ஆற்றல் எங்கிருந்து வருகின்றது என்பது ஒரு கடினமான

பிரச்சினை என்பதை உணர்ந்தனர். ஞாயிற்றின் கதிரியக்கத்தினுல், அதன் ஆற்றல் குறையும். ஆற்றல் சேமிப்பு விதிப்படி, ஆற்றல் தாஞகவே ஏற்பட முடியாதாகையால், எங்கிருந்து இவ்வளவு காலமாக, ஒரே யளவில் ஆற்றல் வெளிப்பட்டது?

ஞாயிற்றின் கதிரியக்கம், ஒரு தனிப்பட்ட தொழிற்சாலையில் ஏற்பட்டிருந்தால், அதிலிருந்து கிடைக்கும் ஆற்றல், ஒரு நொடிக்குப் பல மிலியன் மிலியன் டன்கள் எடையுள்ள நிலக்கரியை எரிக்கப் போதியதாகும். இந்தமாதிரியான தொழிற்சாலை ஒன்றுமில்லை. ஞாயிறு, ஒன்றுமில்லாத கடலிலுள்ள ஒரு கப்பலைப்போலாகும். அது தனக்கு வேண்டிய எரிபொருளான நிலக்கரியைத் தானே எடுத்துச் சென்ருலும், இது சில ஆயிரம் ஆண்டுகளுக்குள்ளாகவே சாம்பலாகவும், எரிக்கப்பட்ட துண்டுகளாகவும் ஆகிவிடும்.

விஞ்ஞானத்தின் சரித்திரத்தில் ஞாயிற்றின் ஆற்றல் எப்படி வெளியிலிருந்து கிடைக்கின்றது என்பதுபற்றி ஒரே ஒருமுறை குறிப்பிடப்பட்டிருக்கின்றது. ஒரு துப்பாக்கிக் குண்டின் வேகத்தைத் தடுத்தால் அதன் இயக்க ஆற்றல், வெப்ப ஆற்றலாக மாறிவிடுகின்றது என்பதைப் பார்த்தோம். அதேபோல் வானத்தில் வீழ்மீன்களுமாகும். இவை வானவெளியிலிருந்து புவியின் வளிமண்டலத்தினுள் பாயும் துப்பாக்கிக் குண்டுகளாகும். இது வானவெளியில் பயணம் செய்யும்வரை யாதொரு தடையுமின்றி, புவியின் வளிமண்டலத்தினுள் புகுந்தவுடன் அதன் வேகம் வளியினுல் தவிர்க்கப்பட்டு இயக்க ஆற்றல், வெப்ப ஆற்றலாக மாறிவிடும். வீழ்மீன், முதலில் வெப்பமாகி ஒளிபெற்றுவிடுகிறது. நல்ல வெளிச்சத்தை அடைந்தவுடன், நாம் இதைக் காணமுடிகின்றது. கடைசியில் இஃது அதன் வெப்பத்தினுலேயே ஆவியாக்கப்பட்டுக் காணமுடியாமல் மறைந்துவிடுகின்றது. மறையும்பொழுது ஓர் ஒளிப்பாதையைக் காணலாம். வீழ்மீனின் இயக்க ஆற்றல், ஒளியாகவும் வெப்பமாகவும் மாற்றப்படுகின்றது. இந்த ஒளியினுல் நாம் இதைக் காண்கின்ருேம். இந்த வெப்பத்தினுல் இது வாயுவாக மாற்றப்படுகின்றது.

1849ஆம் ஆண்டில், ராபர்ட் மேயர் (Robert Mayer) என்பவர், ஞாயிற்றின் கதிரியக்கமாக வெளிவரும் ஆற்றல், தொடர்ச்சியாக வீழ்மீன்கள் ஞாயிற்றின் வளிமண்டலத்தினுள் சேருவதனுலாகும் என்ற கருத்தைத் தெரிவித்தார். இவை ஞாயிற்றின் வளிமண்டலத்தினுள் புகும்பொழுது, இவைகளின் வேகம் தவிர்க்கப்பட்டு இயக்க ஆற்றல் வெப்ப ஆற்றலாக மாறுகின்றது. வீழ்மீன்களும், இவைகளைப்போன்ற பொருள்களும் ஞாயிற்றின் வளிமண்டலத்தினுள் புகுந்தபொழுதிலும் இதனுல் கிடைக்கப்பெறும் ஆற்றல் மிகக் குறைவாகத்தான் இருக்கும்.

இந்தமாதிரியான பொருள்கள் புவியின் அளவினதாக இருந்தாலும் இஃது ஒரு நூற்றுண்டிற்குமேல் ஞாயிற்றின் கதிரியக்கத்திற்குப் போதாது. மேலும் 30 மிலியன் வருடங்களுக்கு தேவைப்படும் கதிரியக்க ஆற்றல் ஏற்படுவதிருக்க, ஞாயிற்றின் எடையும் இரட்டிப் படையும். ஞாயிற்றின் எடை இப்படி அதிகரிக்கும் என்பதை நாம் ஏற்கமுடியாது. ஆகையினுல், மேயரின் கூற்றைத் தள்ளுபடி செய்ய வேண்டும்.

1853ஆம் ஆண்டில் ஹெல்ம்ஹால்ட்ஸ் (Helmholtz) என்பவர் 'சுருக்கக் கூற்று' (contraction hypothesis) என்ற ஒரு புகழ் பெற்ற கூற்றை வெளியிட்டார். இதன்படி ஞாயிறு சுருங்கும்பொழுது ஆற்றல் வெளிப்பட்டு, இந்த ஆற்றல் கதிரியக்கமாக வெளிவருகிறது என்பதேயாகும். ஞாயிற்றின் அரைவிட்டம் ஒரு மைல் அளவு சுருங்கினுல், இதன் வளிமண்டலம் இந்த அளவில் குறைந்து வெளிப்படும் ஆற்றல் இதே எடையுள்ள ஒரு வீழ்மீன் 1 மைல் வளிமண்டலத்தினுள் பாய்ந்து அதனுல் அதன் வேகம் தடைப்பட்டு வெளியிடும் ஆற்றலுக்குச் சமமாகும். ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸின் கூற்றின்படி ஞாயிற்றின் பல பாகங்களிலிருந்து ஏற்படும் விளேவுகள் மேயரின் கூற்றின்படி வீழ்மீனின் விளேவுகள் போலவேயாகும். இதேமாதிரி சுருங்கிக் கடைசியில் சுருங்க முடியாத நிலேயை அடைந்துவிட்டது எனலாம். இதுவும் கணக்கீட்டின்படி சரியானதாக இல்லே. 1862ஆம் ஆண்டு லார்ட் கெல்வின் (Lord Kelvin) என்பவர் இம்மாதிரி ஏற்படும் ஆற்றல் 50 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குமேல் கதிரியக்கத்திற்குத் தேவையானதாகாது என்று கண்டுபிடித்தார். ஆனுல், புவி உட்புறவியல் கணக்குப்படி ஞாயிறு இதைவிடப் பலகாலமாக ஒளியுடன் திகழ்ந்திருக்கின்றது என்று ஆதாரத்துடன் விளக்கலாம். முன்போலவே சுருங்கும்பொழுது வெளியிடப்படும் ஆற்றல் ஞாயிற்றின் கதிரியக்கத்திற்கு முற்றிலும் போதாது. அப்படிக் கிடைத்தாலும், அது மிகவும் குறைவாகும்.

ஞாயிற்றின் ஆற்றலுக்குரிய உண்மை மூலகாரணத்தை ஆராய வேண்டுமாயின் நாம் ஊகத்தை விட்டு வேறுமாதிரி இந்தப் பிரச்சினேயைத் தீவிரமாக ஆராயவேண்டும். கதிரியக்கம் இருக்கும் ஒவ்வொரு பொருளிலிருந்தும் எடை குறையும் என்பதை நாம் பார்த்தோம். 50 குதிரைத்திறன் உள்ள ஒரு நீடொளி விளக்கிலிருந்து (searchlight) ஒரு நூற்றுண்டிற்கொருமுறை ஓர் அவுன்ஸில் 20-ல் ஒரு பங்கு அளவு எடை குறைகின்றது என்பதைப் பார்த்தோம். ஞாயிற்றின் மேற்புறத்தில் ஒவ்வொரு சதுர அங்குலமும் ஒரு 50 குதிரைத்திறன் நீடொளி விளக்காகும். ஆகையினுல், ஞாயிற்றின் ஒவ்வொரு சதுர அங்குலப் பகுதியிலிருந்தும் ஒரு நூற்றுண்டிற்கு ஓர் அவுன்ஸில் 20-ல் ஒரு பங்கு அளவு எடை குறைந்து வருகிறது எனலாம். இது சிறிதாகக்

காணப்பட்டாலும் ஞாயிற்றின் மேற்புறப் பரப்பளவால் பெருக்கினால் இஃது ஒரு நொடிக்கு 4 மிலியன் டன்கள் அல்லது ஒரு நிமிடத்திற்கு 250 மிலியன் டன்களாகின்றது. அதாவது, நயகராவில் (Niagara) நீர் விழும் வேகத்தில் 650 மடங்காகும். இதே அளவில் 3000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்கு எடை குறைந்தால் இதன் அளவு 400,000 மிலியன் மிலியன் மிலியன் டன்களாகும். இது ஞாயிற்றின் மொத்த எடையில் 5000 பங்கில் ஒரு பங்காகும்.

போன அதிகாரத்தில், பொருள் கதிரியக்கமாக மாற்றப்பட்டு, அதனால் கதிரியக்க அணுக்களும் சிதைவுறுகின்றன என்பதைப் பார்த்தோம். இந்தமாதிரியான மாற்றம் புவியில் யுரேனியம் ஈயமாக மாறுவதேயாகும். மொத்தத்தில் 4000 பாகத்தில் ஒரு பாகம் கதிரியக்கமாக இதில் மாற்றப்படுகிறது. இம்மாதிரியே ஞாயிறு முற்றிலும் யுரேனியமானால் அப்பொழுது வெளியாகும் ஆற்றல் 4000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குக் கதிரியக்கத்திற்குப் போதியதாக இருக்கும். இம்மாதிரியாகத் தானாகவே ஏற்படும் கதிரியக்கச் சிதைவினால் ஆற்றல் கிடைத்தாலும் ஞாயிற்றின் ஆற்றலுக்கு உண்மையான ஒரே காரணமாக இருக்கும் என்று சொல்ல முடியாது. அப்படியானால் ஞாயிற்றின் பொருள் முழுவதும் சிதைவுற்ற யுரேனியத்தால் ஆக்கப்பட்டிருக்கவேண்டும். ஆனால், அப்படியில்லை என்பது தெளிவாகத் தெரியும். ஞாயிற்றின் கதிரியக்கம் ஒரு தனிப்பட்ட பிரச்சினையாகாது. இது விண்மீன்களின் கதிரியக்கப் பிரச்சினையில் ஒரு சிறு பகுதியாகும். இவைகளில் அநேகம் ஞாயிற்றைவிட விருவிருப்பான கதிரியக்கமுடையவைகளாகும். ஞாயிற்றின் கதிரியக்கத்திற்கு வேண்டிய ஆற்றல் மூலம் இந்த விண்மீன்களின் கதிரியக்கத்திற்குப் போதியதாகாது. கதிரியக்கமுறைமட்டும் ஞாயிற்றின் கதிரியக்கத்திற்குப் போதியதாகாது என்பதை விரைவிலேயே பார்ப்போம். அதாவது, தனிமங்கள் ஒரு விண்மீனின் உட்புறத்தில் உருவமாற்றமடையும் முறையிலும் எடை குறையும் என்பதைப் பார்த்தோம். நான்கு ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் ஒரு ஹீலியம் அணுவினுடன் சேரும்பொழுது 0·0280 யூனிட்டுகள் பொருண்மையை வெளியிடும். இது கதிரியக்கமாக வெளிவரும். ஒரு ஹைட்ரஜன் அணுவில் 0·0070 யூனிட்டுகளாகும். அதாவது, மொத்த எடையில் 144-ல் ஒரு பங்காகும். ஞாயிறு முற்றிலும் ஹைட்ரஜனாகவே இருந்தால், இது முழுவதும் ஹீலியமாக மாற்றப்பெறின், இந்த முறையில் ஏற்படும் ஆற்றல் 100,000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குக் கதிரியக்கத்திற்குப் போதியதாகும்.

மற்ற மாற்றங்கள் (ஹைட்ரஜனின்) கிட்டத்தட்ட இதே அளவில் தான் தேவையான ஆற்றலை ஏற்படுத்துகிறது. தோராயமாக எல்லா அணு எடைகளும் முழு எண்களாகுமெனலாம்—ஹைட்ரஜனைத் தவிர

(இதன் அணு எடை 1·0081 ஆகும்). அப்படியென்றால் எந்தவித மாற்ற மானாலும், ஹைட்ரஜனின் மொத்த எடையில் 0·81 சதவீதமெனலாம். அதாவது, 124 பங்கில் ஒரு பங்கெனலாம். இந்தமாதிரியான மாற்றம் ஞாயிற்றின் கதிரியக்கத்திற்குத் தேவையான ஆற்றலைக் கொடுக்கும். இவைதான் ஞாயிற்றிற்கும் இதர விண்மீன்களுக்கும் போதிய ஆற்றலை அளிக்கின்றன என்பதைப் பார்ப்போம். இதற்கு விண் மீன்களைப்பற்றிப் பொதுவாகவும் குறிப்பாகவும் பல தகவல்கள் வேண்டும். இதுதான் அடுத்த அதிகாரத்தின் நோக்கம்.

4. விண்மீன்கள்

இதற்கு முற்பட்ட அதிகாரத்தில் ஞாயிற்றை ஓர் ஆற்றலின் கருவூல மாகவும், அதன் கதிர்வீச்சை ஆற்றலின் வெளிப்பாடாகவும் நினைக்கும் படி ஆயிற்று. மற்ற விண்மீன்களையும் இவ்வாறே கொள்ளலாம். ஒரு விண்மீனின் அமைப்பு, ஆற்றலின் கருவூலம், ஆற்றல் வெளிப்பாட்டு முறை இவைகளைப்பற்றிய முழு அறிவை நாம் பெறமுடிந்தால் அதிலிருந்து வருடந்தோறும் ஏற்படும் மாறுதல்களை அறிந்துகொள்ள லாம். இவ்வாறு பெற்ற அறிவினால் ஒரு விண்மீனின் படிப்படியாக முன்னேறும் வரலாற்றை (evolutionary history) முற்றிலும் தொடர்ந்து காணமுடியும். அப்போழ்து நமக்குத் தெரிந்த ஒவ்வொரு விண்மீனின் உருவ அமைப்பும் (stellar configuration) முடிந்த அளவு முழுவரிசை விண்மீன் உருவ அமைப்பாக விரிவடையப்பெறும். உதாரணமாக 'இந்த விண்மீன் நம் ஞாயிற்றைப்போல் ஓராயிரம் மிலியன் வருடங்களுக்கு முன் தோன்றியதாகும்; இந்த (மற்றொரு) விண்மீன் நம் ஞாயிற்றைவிட ஓராயிரம் மிலியன் வருடங்களுக்குப் பிறகு தோன்றியதாகும்' என்று நாம் முடிவுகாணலாம். விண்மீன்களை, ஒரு பெரிய படை நன்றாக நிர்ணயிக்கப்பட்ட பாதைகளின் வழியே அணி வகுத்து நடப்பதுபோல் உருவகப்படுத்தி, இதனால் ஒவ்வொரு விண் மீனின் துவக்க நிலையையும், அதன் வயதையும் விரித்துரைக்க முடியும். விண்மீன்கள், காலம் முழுவதும் ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்றும், அப்படியின்றேல் ஒரு குறிப்பிட்ட ஊழியில் (epoch) அவை தோன்றி யிருக்க வேண்டும் என்றும் நாம் அறியலாம்.

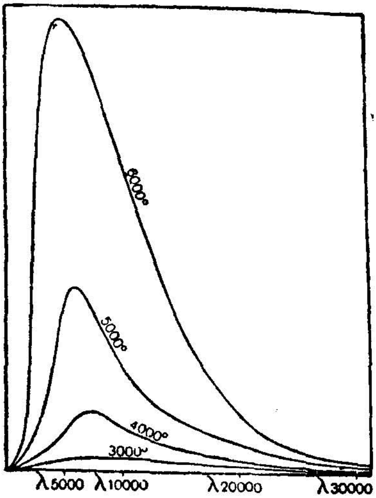
இந்தவிதமான பிரச்சினைகளைப்பற்றி இப்பொழுது கவனிப்போம். இதற்கு, முதலாவதாக வானத்தில் காணப்படும் பலவித விண்மீன்களின் பருப்பொருள் நிலைகளைப்பற்றி (physical state) விவரமாகத் தெரி விக்கவேண்டும். இதிலிருந்து வானியல் அறிஞர்களால் நுண்காட்சி யின்மூலம் அறியப்பட்ட உண்மைகள், நமக்கு விண்மீன்களின் நிலையைப்பற்றிய நேரிடைத் தகவல்களை எப்படிக் கொடுக்கின்றன என்பதை விரித்துரைக்கவேண்டும்.

விண்மீன்களின் மேற்புற வெப்பநிலைகளின் நுண்காட்சி

மேற்பரப்பின் தட்பவெப்பநிலை

இரண்டாவது அதிகாரத்தில், ஒவ்வோர் ஒளியின் நிறமும், அல்லது ஒவ்வொரு கதிர்வீச்சின் அலைநீளமும் எப்படி ஒரு தனிப்பட்ட வெப்பநிலையை ஒத்திருக்கின்றது என்றும், குறித்த வெப்ப நிலைக்கு ஏற்ப அந்த ஒளியின் நிறம் சிறந்து காணப்படுவதையும் நாம் அறிந்தோம். உதாரணமாக, ஒரு பொருள், பழுக்கக் காய்ச்சப்பட்டால் அதிலிருந்து சிவப்பு ஒளியே அதிகமாக வெளிப்பட்டுக் கண்களுக்குச் சிவப்பாகத் தெரிகிறது.

ஆகையினால், ஒரு விண்மீன் சிவப்பாகத் தெரிந்தால், அதன் மேற்பரப்பு பழுக்கக் காய்ச்சப்பட்ட வெப்பநிலை அளவிற்கு இருக்கும் என்று நாம் கருதுவது முறையாகும். இதேபோல், மற்றொரு விண்மீனின் நிறம், ஒரு பகுதி வட்டக் கார்பன் (carbon of an arc-light) நிறமாயின், அதன் மேற்புற வெப்பம் ஏறக்குறைய பகுதி வட்டத்தின் வெப்பநிலையை ஒத்திருக்கும் என்ற முடிவிற்கு வரலாம். இதேபோல் (பல) விண்மீன்களின் மேற்புற வெப்ப நிலைகளை மதிப்பிட்டு அறியலாம்.



படம் 11.
பலவகை வெப்பநிலைகளில் பல்வேறு அலைநீளங்களின் கதிர்வீச்சுப் பரவல்

நடைமுறையில் மேற்கூறிய முறை, நாம் நினைக்கும் அளவிற்குச் செப்பமற்ற (crude) முறையாகாது. வானியல் அறிஞர், விண்மீனின் ஒளியை, ஒரு நிறமாலைகாட்டியினுள் (spectroscope) செலுத்தி, ஒளியை மாறுபாடான நிறங்களாகப் பிரித்து விடுகிறார். பிறகு சரியான ஓர் அளவுமுறையால், மாறுபட்ட ஒளிகளின்படி வீதத்தை (proportion) அறிந்துகொள்கிறார். இது விண்மீனின் நிறமாலையில் (spectrum), ஒளியின் நிறத்தில் எந்த நிறம் அதிக அளவில் இருக்கின்றது என்று உடனடியாகக் காண்பிக்கின்றது. இதன் மூலமாகவோ அல்லது, நிறத்தின் பொதுப் பரவல் (general distribution of colour) மூலமாகவோ, அவ்வறிஞர் விண்மீனின் மேற்புற வெப்பநிலையை உய்த்துணர்கிறார்.

ப்ளாங்கு (Planck) என்பவர், ஒரு 'முழுக் கதிர்வீச்சி' (full radiator) யிலிருந்து வெளிப்படும் கதிர்வீச்சு வெவ்வேறு நிறங்களில் அல்லது ஒரு நிறமாலையின் அலைநீளங்களில் (wave-length) எப்படிப் பரவி இருக்கின்றது என்பதுபற்றிய விதியைக் கண்டுபிடித்தார் என்பதை ஏற்கெனவே நாம் அறிந்தோம். படம் 11-ல் வரையப் பட்டிருக்கும் 3000, 4000, 5000, 6000 டிகிரிகளுள்ள நான்கு வளை கோடுகள், மேற்புற வெப்பநிலைகளின் வெளிப்பட்ட கதிர்வீச்சின் கருதுகோள் பரவலைக் (theoretical distribution) காண்பிக்கின்றன. ஒளியின் வெவ்வேறு அலைநீளங்களை தளமட்டக் கோட்டில் குறிக்கப்பட்ட புள்ளிகள் காண்பிக்கின்றன. இவ்வாறு குறிக்கப்பட்ட அலைநீளங்கள் 'ஆங்ஸ்ட்ராம் (Angstrom) அலகு' என்று சொல்லப்படும். அதாவது, ஒரு சென்டிமீட்டரில் நூறு மிலியன் பாகத்தில் ஒன்றாகிய (10·8 சென்டிமீட்டர்) அளவை முறையிலாகும். ஒவ்வொரு புள்ளியிலிருந்தும், வளைகோட்டிற்கு உள்ள உயரம் அந்தப் புள்ளியினால் குறிக்கப்பட்ட அலைநீளத்திற்கான கதிர்வீச்சுச் செழிப்பைக் காட்டும்.

மேற்சொன்ன, இரண்டு முறைகளாலும் தீர்மானிக்கப்பட்ட விண்மீன் வெப்பநிலையைப் படத்தில் வரையப்பட்ட இரண்டு வளைகோடுகளின்மூலம் தெளிவாக அறியலாம். 6000 டிகிரி வெப்பநிலையைக் குறிக்கும் வளைகோடு, 4800 ஆங்ஸ்ட்ராம்கள் அளவுள்ள அலைநீளத்திற்கு அதன் உச்சியை அடைகிறது. ஆகவே, ஒரு விண்மீனின் நிறமாலையில், 4800 ஆங்ஸ்ட்ராம் அலைநீளமுள்ள ஒளி செழிப்பாக (மிகுதியாக)க் காணப்பட்டால், அதிலிருந்து அந்த விண்மீனின் மேற்புற வெப்பநிலை 6000 டிகிரிகள் என்று அறிகிறோம். இரண்டாவது முறையாவது, 11ஆம் படத்தில் வரையப்பட்ட கருதுகோட்பாட்டு வளைகோடுகளில் எந்த வளைகோட்டினுடன், கண்டறிந்த வளைகோட்டை (observed curve) மிக நெருக்கமாகப் பொருத்தலாம் என்று அறியலாம்.

இரண்டு முறைகளுள் எதுவாகிலும், ஞாயிற்றின் மேற்புற வெப்பநிலையை 6000 டிகிரிகள் என்றோ, அல்லது இதைவிடக் குறைவாகவும், ஆனால் மின்சாரப்பகுதி வட்டத்தின் மிக வெப்பமான பகுதியைவிட 2000 டிகிரிகள் அதிகமான வெப்பநிலையை உடையதாகவும் இருக்கலாம் என்று காண்பிக்கின்றது. ஞாயிற்றிலிருந்து, புவியினால் அடையப்பட்ட மொத்த ஒளியும் வெப்பமும், ஞாயிற்றின் கதிர்வீச்சு, ஏறக் குறைய இதே வெப்பநிலையில் உள்ள ஒரு முழுக் கதிர்வீச்சிற்கு இணையாகும் என்பதைக் காட்டுகின்றன. இதை ஞாயிற்றின் கதிர் வீச்சுப் பல்வேறு நிறங்களில் பரவப்பட்டிருக்கும் விதத்தாலும் அறியலாம். இது 6000 டிகிரி வெப்பநிலையில் உள்ள ஒரு முழுக் கதிர் வீச்சின் கருதுகோட்பாட்டு வளைகோட்டிலிருந்து (படம் 11) காணப்படும் நிலைக்குச் சரியாக இருக்கின்றது.

இயைபு அமைப்பு (Chemical Composition)

ஒரு விண்மீனின் நிறமாலையின் படிப்பினையின்மூலம், வளிமண்டலத்தில் (atmosphere) உள்ள இயைபுப் பொருள்கள் யாவை என்று சொல்லலாம். இதுவன்றி, என்ன விகிதத்தில் இவைகள் காணப்படுகின்றன என்பதையும் சொல்லலாம். ஏனென்றால், ஒரு விண்மீனின் வளிமண்டலம் இந்த வெப்பநிலையுள்ளதாக இருக்கின்றது என்று அறிந்து, அதன்மூலம், இயைபுப் பொருள்கள் ஒரே அளவில் இருந்தால் அந்த விண்மீனின் நிறமாலை எப்படித் தோன்றும் என்பதைக் கணக்கிட்டுப் பார்க்கலாம். (விண்மீனின்) புனைவு நிறமாலையை நேர்முகமாகக் காணப்பட்ட நிறமாலையுடன் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கும்பொழுது, விண்மீனின் வளிமண்டலத்தில் எந்தத் தனிமங்கள் (elements) அதிகமாக இருக்கின்றன என்பதை அறியலாம். இஃது இப்படி இருக்க, ஒரு விரிவான ஒப்பீடு, வெவ்வேறு தனிமங்களின் ஒப்பு அளவுகளைக் காண்பிக்கின்றது.

இந்த முறையைப் பின்பற்றி ரஸ்ஸல் (Russell) என்பவர் ஒரு அட்டவணையைக் கொடுத்திருக்கிறார். இது ஞாயிற்றின் வளிமண்டலத்தில் உள்ள பல தனிமங்களின் வலிமைகளைக் (relative strengths) காண்பிக்கின்றது. இந்த அட்டவணையின் இரண்டாவது பத்தியில் வெவ்வேறு தனிமங்களினுடைய அணுக்களின் எண்கள் (relative numbers) கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இஃது, ஒரு கேள்விக்குறி கணக்கீட்டின் நிச்சயமற்ற நிலையையும், இரண்டு கேள்விக்குறிகள் கணக்கீட்டின் மிக நிச்சயமற்ற நிலையையும், இவை இரண்டுமற்ற பகுதிகள் அந்தத் தனிமமோ அல்லது அந்தத் தனிமக் கூட்டமோ (compound of the element) இருக்கிறது என்பதற்கு முடிவான ஆதாரம் ஒன்றுமில்லை என்பதைக் குறிக்கிறது.

தனிமம்	அணுக்களின் இணையான எண்
ஹைட்ரஜன்	1,000,000.000
ஹீலியம்	30,000,000 ??
லிதியம்	3
பெரிலியம்	2 ?
போரான்	3,000
கார்பன்	1,000,000
நைட்ரஜன்	3,000,000 ?
பிராணவாயு	30,000,000
ஃபுளூரின்	30,000 ?

தனிமம்				அணுக்களின் இணையான எண்
நியான்	...	...	...	......
சோடியம்	...	...	...	500,000
மக்னீசியம்	...	...	...	600,000
அலுமினியம்		...	...	80,000
ஸிலிகான்	...	...	...	1,000,000
பாஸ்ஃபரஸ்...		...	...	300 ?
கந்தகம் (Sulphur)		...	...	16,000 ?
குளோரின்	...	...	...	......
ஆர்கான்	...	...	...	......
பொட்டாசியம்		...	...	200,000 ?
கால்ஸியம்	...	...	...	160,000
ஸ்காண்டியம்		...	...	130
டிடானியம்	...	...	...	5,000
வனேடியம்	...	...	...	3,000
குரோமியம்	...	...	...	16,000
மாங்கனீஸ்	...	...	...	25,000
இரும்பு	...	...	...	500,000
கோபால்ட்	...	...	...	13,000
நிக்கல்	...	...	...	30,000
செம்பு	...	...	...	3,000
துத்தநாகம்...		...	...	2,500

மேற்கூறிய தனிமங்களில், அட்டவணையில் சேர்க்கப்படாத தனிமங்களில் சில மிகச் சிறிய அளவில் இருக்கின்றன. மற்றவை கண்டுபிடிக்க முடியாதபடி இருக்கின்றன. ஆனால், அநேக தனிமங்கள், மிகுந்த அளவில் இல்லாமையால், ஒரு முனைப்பான நிறமாலைச் சோதனையின் மூலம்கூடக் காணமுடியாமல் இருக்கின்றன. ஆகையினால், எந்தத் தனிமமும் ஞாயிற்றில் இல்லை என்று நினைப்பதற்குப் போதிய காரணமில்லை என்று ரஸ்ஸல் (Russell) முடிவு செய்துள்ளார்.

புவியில் 14 வித அணுக்களே பொதுவாகக் \காணப்படுகின்றன என்று உணர்ந்துள்ளோம் (பக்கம் 118).

ரஸ்ஸல் அவர்களின் அட்டவணை, இதே பதினன்கு அணுக்களே, குளோரின், பாஸ்ஃபரஸ் தவிர, ஞாயிற்றிலும் பொதுப்படையாக இருக்கின்றன என்பதனைக் காண்பிக்கிறது. ஆனால், இந்தத் தனிமங்கள்,

இரண்டிலும் ஒரேவிதத்தில் அமையவில்லை. ஹைட்ரஜனும், ஹீலியமும் புவியில் நம்மால் நுண்காட்சியினால் பார்க்கக்கூடிய பாகங்களின் வளிமண்டலத்தைவிட ஞாயிற்றின் வளிமண்டலத்தில் பெருத்த அளவில் இருக்கின்றன. மற்ற இலேசான தனிமங்கள், நைட்ரஜன் அல்லது ஆக்ஸிஜன்வரை, ஒருவாறு அதிகமாக இருக்கின்றன. இதற்கு, ஏற்கெனவே ஒரு காரணத்தைக் கண்டுபிடித்துள்ளோம் (பக்கம் 119).

ஞாயிற்றின் வளிமண்டலத்தில் இலேசான தனிமங்கள், கனமான தனிமங்களைவிட அதிகமாகவே காணப்படுகின்றன என்பதைப் பொதுப் படையாக நாம் அறிகிறோம். இதை நாம் விளக்கிச் சொல்லும்பொழுது, கனமான பொருள்கள் அடியிலுள்ள அடுக்குகளுக்குள் (layers) இறங்கிவிடும். ஓர் இயற்கைத் தன்மையை ஆதாரமாக வைத்து, இதனால் அவைகள் நுண்காட்சிக்கு அகப்படாமற்போய்விடுகின்றன என்று முடிவுகட்டத் துணிகிறோம். ஆனால், இது முழுவிளக்கம் அன்று என்பது மேலும்மேலும் தெளிவாகிறது. இஃது ஒரு விளக்கமாகவே இல்லாமலும் இருக்கலாம். உதாரணமாக, இரட்டைப்படை அணு எண் உள்ள தனிமங்கள், ஒற்றைப்படை அணு எண் உள்ள இலேசான தனிமங்களைவிட எண்ணிப்பார்க்கும் அளவு செழிப்பாக இருப்பது வியக்கத்தக்கது. உதாரணமாக, மக்னீசியம் இலேசான சோடியத்தைவிட அதிகமாகவும், ஸிலிகான் இலேசான அலுமினியத்தைவிட அதிகமாகவும் உள்ளன. இதற்கு ஒப்பான ஒரு நிலையைப் புவியின் மேல்தளக் (earth's crust) கலவையிலும் (composition) காணலாம். மிகக் கனமான தனிமங்கள், முற்றிலும் புவியின் உட்புறத்திற்குள் புதைந்துவிட்டதாகத் தோன்றவில்லை. மேலும், பொதுப்படையாக இரட்டைப் படை அணு எண் உள்ள தனிமங்கள், ஒற்றைப்படை அணு எண் உள்ள தனிமங்களைவிட அதிக அளவில் காணப்படுகின்றன.

புவியில் உள்ள இயைபுப் பொருள்களில், ஏறக்குறைய எல்லாப் பொருள்களும் ஞாயிற்றின் வளிமண்டலத்தில் காணப்படுவது குறிப்பிடத்தக்கது. புவியில் காணப்பட்ட 92 தனிமங்களில், 58 தனிமங்கள் ஞாயிற்றில் திண்ணமாகவும் (உறுதியாகவும்), நிச்சயமாகவும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. 4 தனிமங்கள் அவ்வளவு நிச்சயமாக நிர்ணயிக்கப்படவில்லை; 18 காண்பதற்கு அகப்படவில்லை. மீதியுள்ள பன்னிரண்டின் நிறமாலையைப்பற்றித் தெரியாததனால் அவைகளின் இருப்பைப்பற்றித் தெரிந்துகொள்ள முடியாததாகும்.

இதேமாதிரியான படிப்பினைகளை, ஹார்வார்டில் மிஸ் பேய்ன் (Miss Payne) என்பவரும், மவுன்ட் வில்சனில் (Mount Wilson) ஆடம்ஸ் (Adams) ரஸ்ஸல் (Russell) என்ற இருவரும் குறிப்பாகத் தெரிவித்துள்ளார்கள். இவைகளிலிருந்து விண்மீன்களின் இயைபுக் கலவை, பெரும்பாலும் இவ்வாறே இருக்கலாம் என்று தோன்றுகிறது.

விண்மீன்கள் மாறுபட்ட நிறமாலைகளைக் காண்பித்தாலும், இந்த மாறுபாடுகள் வெப்பநிலையின் மாறுபாடுகளைக் குறிக்கின்றன என்றும் (குறைந்த அளவில் அழுத்தத்தின் மாறுபாடுகளையும் குறிக்கின்றன என்றும்) கருதப்படுகிறது. உதாரணமாக, விண்மீன்களின் வளி மண்டலங்கள், ஒரு தனிப்பட்ட வெப்பநிலையுடையனவாக இருந்தால், ஹைட்ரஜனின் நிறமாலை மிக்க வன்மைபெற்றிருக்கின்றது. இதைவிடக் குறைந்த வெப்பநிலையில் இது மிகவும் வலுவற்றதாகக் (மெலிந்து) காணப்படுகின்றது. இந்தநிலையில் இரும்பின் நிறமாலை சற்று வன்மை யுடையதாக காணப்படுகிறது. பண்டைக் காலத்தில் நிறமாலை காணுவோர் (spectroscopists) முதல் விண்மீன் அடுத்த விண்மீனை விட அதிக ஹைட்ரஜனுடையதாக இருக்கும் என்றும், குறைந்த அளவில் இரும்பை (iron) உடையதாக இருக்கும் என்றும் தவருகக் கருதினுர்கள். இதற்குச் சரியான விளக்கம் என்னவென்ருல், முதல் விண்மீனின் வளிமண்டலம் போதிய அளவு வெப்பநிலையுடையதாக இருப்பதால் ஹைட்ரஜனின் இருப்பை வெளிப்படையாகக் காண முடிந்தது என்பதேயாகும்.

நிறமாலை வகைகள்

ஒரு விண்மீனின் நிறமாலை, அடிப்படையில் அதன் மேற்பரப்பின் வெப்பநிலையைப் பொறுத்திருப்பதால், விண்மீன்களின் நிறமாலைகளை, பிரதானமாக ஒரு தொடர்வரிசையில் (continuous sequence) அமைக்கலாம். நிறமாலைகளின் பாகுபாடு, வழக்கமாக O, B, A, F, G, K, M என்ற வரிசை எழுத்துகளோடு தசமப் பிரிவுகளைச் சேர்த்துக் கொடுக்கப்படும். இந்த வரிசையில் வெப்பநிலை குறைந்துகொண்டே போகும். O வகை விண்மீன்களின் மேற்புற வெப்பநிலை மிக அதிகமாகவும், M வகை விண்மீன்களின் மேற்புற வெப்பநிலை மிகக் குறைவாகவும் இருக்கும். விண்மீன்களின் நிறமாலைகளின் உதா ரணங்கள் ஒளிப்படம் XV (பக்கம் 36)-ல் கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவைகளின் நிறமாலை வகைகள் (spectral types) இடப்பக்கம் குறிக்கப்பட்டுள்ளன.

இவையல்லாமல் ஒரு விண்மீனின் நிறமாலை வகை, முக்கியமாக அதன் மேற்புற வெப்பநிலையிலிருந்து நிர்ணயிக்கப்படுவதால், அதன் மேற்புற வெப்பநிலையை அதனுடைய நிறமாலை வகையிலிருந்து மதிப் பிட்டு அறியலாம் என்று தெரிகிறது. விண்மீன்களின் நிறமாலைகளில் காணப்படும் கோடுகளில் ஏராளமானவை ஒன்று அல்லது இரண்டு மின் அணுக்கள் நீங்கிய அணுக்களின் வெப்பநிலைகளைக் குறிக்கின்றன. விண்மீனின் வளிமண்டலத்தின் வெப்பமே அணுக்களிலிருந்து மின் அணுக்களை நீக்குகின்றது. அணுக்களிலிருந்து மின் அணுக்கள் நீக்கப்படும்பொழுது அதன் வெப்பநிலை என்னவென்பது நமக்குத்

தெரிவதால், அதிலிருந்து விண்மீனின் வெப்பநிலையைக் கண்டறியலாம்.

ஒளிப்படம் XV-ல் கொடுக்கப்பட்ட பலவகை விண்மீன்களின் நிறமாலைகளுக்கு இணையான வெப்பநிலைகள் ஏறத்தாழப் பின்வருமாறு:

நிறமாலை வகை	வெப்பநிலை
B	20,000
A	10,000
F	7,000
G	6,000
K	5,100
M	3,400

அட்டவணையில் கடைசி மூன்று பதிவுகள் (entries) ஞாயிற்றுடன் ஒப்பிடத்தக்க விட்டத்தையுடைய சாதாரண விண்மீன்களுக்கானவை. ஞாயிற்றின் விட்டத்தைவிட மிகப்பெரிய விட்டங்களை உடைய இரண்டாவது வகை விண்மீன்கள் (giants) இருக்கின்றன என்பதையும் காண்போம். இவைகளின் திடமான கீழ் வெப்பநிலைகள் கீழே கொடுக்கப்பட்டபடி உள்ளன :

நிறமாலை வகை	வெப்பநிலை
G	5,600
K	4,200
M	3,200

O வகை விண்மீன்களின் மேற்புற வெப்பநிலைகள் இதுவரை கொடுக்கப்பட்ட வகைகளில் குறைந்த திருத்த அளவில் தெரியும். இவைகள் 20,000 டிகிரிகள் முதல் 100,000 டிகிரிகள் வரை உள்ள வெப்பநிலைப் பரப்பில் (range) உள்ளன. நோவி (novae) என்ற 'புது விண்மீன்கள்' (பக்கம் 62) மிக வெளிச்சமாக இருக்கும் பொழுது இந்த நிறமாலை வகையைச் சேர்ந்ததாயிருக்கின்றன. இதே போல், கோள்களின் நெபுலங்களின் (planetary nebulae) (பக்கம் 25) அணுக்கருக்களும் (nuclei) இந்த வகையைச் சேர்ந்தவை. பின் சொல்லப்பட்ட வகையைப்பற்றிப் பிரத்தியேகமாக ஆராய்ச்சி செய்த ஜான்ஸ்ட்ரா (Zanstra) என்பவர், இவைகளுள் 18 அணுக்கருக்களின் சராசரி மேற்புற வெப்பநிலை 42,000 டிகிரிகள் என்று கண்டுபிடித்தார். நோவா அகிலீ (Nova Aquilae) யின் வெப்பநிலை அதிகபட்சம் 65,000 டிகிரிகள் என்று பீயால்ஸ் (Beals) என்பவர் கண்டுபிடித்தார். இவர் பெரும்பான்மையான புது விண்மீன்கள், இந்த அளவு வெப்பநிலைகளை, இவைகள் வெடித்துக் கிளம்பும் நேரங்களில் சில சமயம் அடையலாம் என்று கருதுகிறார்.

விண்மீன்களின் அமைப்பைப்பற்றியும் பொறி இயல்பைப்பற்றியும் ஆராயும்பொழுது, அவைகளின் மேற்புற வெப்பநிலை உடனடியான அவசியமற்றது, ஒரு சதுர அங்குலத்திற்கு எந்த அளவு கதிர்வீச்சு வெளிப்படுகின்றது என்பதேதான் அவசியமானதாகும்.

இது திட்டமாக வெப்பநிலையைப் பொறுத்திருக்கின்றது. வெப்பம் அதிகமானால், கதிர்வீச்சும் அதிகமாகும். ஆனால், வெப்பநிலை வெளிப்படும் கதிர்வீச்சின் அளவை (quantities) அளப்பதில்லை. வெப்பநிலையை இரட்டிப்பாக்கினால் (double) கதிர்வீச்சு முன்னைவிட 16 மடங்கு (இரண்டு மடங்கல்ல) அதிகமாகும். ஒவ்வொரு சதுர அங்குலத்திற்கான கதிர்வீச்சு வெப்பநிலையின் 4ஆம் அடுக்கிற்கு (fourth power) ஏற்ப மாறும். இதனால் ஒரு விண்மீனின் மேற்புற வெப்பநிலை 3000 டிகிரிகளாக இருந்தாலும் அல்லது ஞாயிற்றின் மேற்புற வெப்பநிலையைப்போல் அரைமடங்காக இருந்தாலும் அதன் கதிர்வீச்சு ஞாயிற்றின் கதிர்வீச்சில் சதுர அங்குலத்திற்குப் பதினாறில் ஒரு பகுதியாகும்.[1]

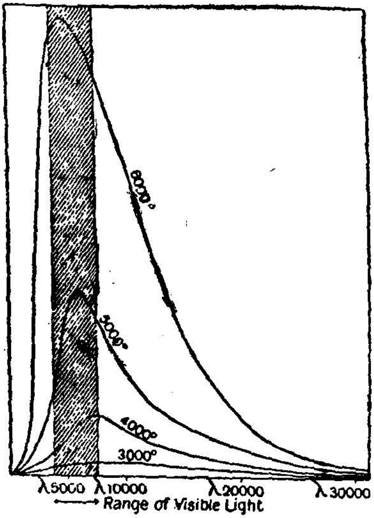
ஒவ்வொரு விண்மீனின் கதிர்வீச்சும், ஒளி, வெப்பம், அல்ட்ரா வயலட் கதிர்வீச்சு இவைகளின் கலவையாகும். இவைகளின் விகிதம் வெவ்வேறு விண்மீன்களுக்கும் ஒரேமாதிரியாக இருக்காது. ஒரு விண்மீனின் மேற்புறம் எவ்வளவு குளிர்ந்திருக்கிறதோ, வெப்பமாக வெளிவிடப்படும் கதிர்வீச்சின் பின்னம் அவ்வளவு பெரியதாயிருக்கும். இதன்படி 3000 டிகிரி வெப்பநிலையை உடைய ஒரு விண்மீன், ஞாயிற்றின் ஒளியில் சதுர அங்குலத்திற்கு 16-ல் ஒரு பகுதி ஒளியை வெளிப்படுத்தாது. ஆனால், ஞாயிற்றின் வெப்பத்தைவிடப் பதினாறில் ஒரு பகுதியைக்காட்டிலும் அதிக அளவு வெப்பத்தை வெளிப்படுத்தும்.

இதிலிருந்து ஒரு விண்மீனின் கதிர்வீச்சைக் கண்ணுக்குத் தெரியும் ஒளி அளவிலிருந்துமட்டும் மதிப்பிடமுடியாது. எப்பொழுதும் தென்படாத கதிர்வீச்சுகளாகிய நிறமாலையின் சிவப்புப் பகுதியில் உள்ள காணமுடியாத கதிர்வீச்சிற்கும் மற்றொரு பக்கத்தில் உள்ள காணமுடியாத அல்ட்ரா-வயலட் கதிர்வீச்சுக்கும் போதிய அளவு தள்ளுபடி (allowance) வேண்டும். இந்தத் திருத்தங்களின் முக்கியத்துவம் 12ஆம் படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதிலிருக்கும் நான்கு வளைகோடுகளும் 11ஆம் படத்தில் கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் வளைகோடுகளுடன் ஒத்திருக்கின்றன. இவைகள், கொடுக்கப்பட்ட மேற்புற வெப்பத்தை உடைய ஒரு விண்மீனின் கதிர்வீச்சு எவ்வாறு

1. இது 11ஆம் படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்தப் படத்தில் 3000 டிகிரி வளைகோட்டின் பரப்பு, 6000 டிகிரி வளைகோட்டின் பரப்பில் பதினாறில் ஒரு பகுதியாகும்.

வெவ்வேறு வகை அலைநீளங்களில் (wave-lengths) பரப்பப்பட்டு இருக்கின்றன என்பதைக் காண்பிக்கின்றன. எந்த வெப்பநிலைக்கும் உரிய கதிர்வீச்சை அதற்கு இணைந்த வளைகோட்டிற்கும், தளமட்டத்திற்கும் இடையில் உள்ள பரப்பு காண்பிக்கும். கண்கள் 3700 முதல் 7500 ஆங்ஸ்ட்ராம் அளவுள்ள அலைநீளங்களின் கதிர்வீச்சைமட்டுமே காணமுடியும். ஆகையினால், கதிர்வீச்சுக் கோட்டினால் நிரப்பப்பட்ட (shaded) பகுதியைத் தவிர மற்ற எல்லாப் பகுதியிலும் உள்ள கதிர் வீச்சுக் காணமுடியாத அளவில் இருக்கும்.

ஒரு விண்மீன் 6000 டிகிரி வெப்பநிலையில் இருக்கும்பொழுது அதன் கதிர்வீச்சில் பெரும்பான்மை அளவு பார்க்கக்கூடிய பரப்பளவில் இருக்கும் என்பது உடனடியாகத் தெரிகிறது. ஆனால், 3000 டிகிரி வெப்பநிலையுள்ள ஒரு விண்மீனின் கதிர்வீச்சில் ஒரு சிறிய பின்னப் பகுதியே (small fraction) பார்க்கக்கூடிய அளவில் இருக்கும். இதன் கதிர்வீச்சில் பெரும்பகுதி பார்க்கக்கூடிய ஒளியின் அலை நீளத்தைவிட அதிக அலைநீளமுடைய வெப்பக் கதிர்வீச்சாகும் (heat radiation). 6000 டிகிரிகள் மேற்புற வெப்பநிலையுள்ள ஒரு விண்மீனின் கதிர்வீச்சைக் காட்டும் வளைகோட்டை 12ஆம் படத்தில் வரைய முடியாது. ஏனென்றால், அம்மாதிரியான வளைகோடு நாலு மைல் உயரமுடையதாயிருக்கும். அப்படியும் அவ்வித வளைகோட்டை வரைந்தால், மொத்தக் கதிர்வீச்சையும், பார்க்கக்கூடிய ஒளியின் அலைநீளத்தை விடச் சிறிய அலை நீளத்தையுடைய அல்ட்ரா-வயலட் கதிர்வீச்சாக நாம் காணவேண்டும். விண்மீன்களை மொத்தமாக எடுத்துக்கொள்ளும் பொழுது, விண்மீன் ஒளி, விண்மீன்களின் கதிர்வீச்சில் ஒரு சிறிய பகுதியே என்று தெளிவாகச் சொல்லலாம்.



படம் 12.
பார்க்கக்கூடிய, பார்க்கமுடியாத நிலையிலிருக்கும் கதிர்வீச்சுப் பரவல்

இந்தப் புத்தகத்தில் குறிப்பிட்டிருக்கும் கணக்குகள் (calculations), காணமுடியாத கதிர்வீச்சின் இருப்பிற்கு வேண்டிய அளவு தள்ளிக் கணிக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

நிறங்கள்

விண்மீனின் (பார்க்கக்கூடிய) கதிர்வீச்சு, சுத்தமான வெவ்வேறு (நிறமாலை) நிறங்களை உடைய ஒளியினால் ஆனது. இவை வேறுபட்ட விகிதத்தில் சேர்க்கப்பட்டிருக்கின்றன. சரியான விகிதம், விண்மீனின் வெப்பநிலையைச் சார்ந்திருக்கின்றது. தோராயமாகக் கூறும்பொழுது ஒரு விண்மீனின் ஒளியில் மூன்று (அடுத்துள்ள) நிறமாலை நிறங்களுக்குமேல் நன்றாகத் தெரிவதில்லை என்று வைத்துக் கொள்ளலாம். மற்ற நிறங்கள் குறைந்த அளவிலே இருப்பதாகவும் வைத்துக்கொள்ளலாம். அந்த விண்மீன் எத்தகைய நிறத்தைப் பெற்று நம் கண்ணுக்குத் தெரியும் என்றால் மிகவும் அதிகமாகக் காணப்படும் நிறங்களின் சராசரி நிறமேயாகும். அடுத்தடுத்துள்ள தொகுதிகளைச் சேர்ந்த நிறமாலை நிறங்களின் சராசரிகளில் ஆறை எடுத்துச் சராசரி செய்தால், கீழே கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் அட்டவணையின் இரண்டாம் பத்தியில் (column) உள்ள நிறத்தொடர்ச்சி கிடைக்கும்.

நிறமாலை நிறங்கள்	சராசரி நிறம் (விண்மீனின் பார்க்கும்படியான நிறம்)
ஊதா, நீலம் ஊதா, நீலம், பச்சை	நீலம்
நீலம், பச்சை, மஞ்சள்	வெண்மை
பச்சை, மஞ்சள், ஆரஞ்சு	மஞ்சள்
மஞ்சள், ஆரஞ்சு, சிவப்பு	ஆரஞ்சு
ஆரஞ்சு, சிவப்பு, (நல்ல)	சிவப்பு

விண்மீன்களை அநேகமாக அவைகளின் நிறத்தின்படியே குறிப்பிடலாம். ஏனென்றால், வெப்பத்தினால் கண்டுபிடிக்கக்கூடிய அளவுகள் சிறந்தனவாக இருந்தாலும் சரியானவைகளாக இல்லை. நம் கண்கள் திடீரெனப் பார்க்கக்கூடிய ஒளிகளைத் தவிர பலவகைக் கதிர்வீச்சுகளையும் உணரும்படி இருந்தால், வானத்தின் தோற்றமே ஒரு புதுமையான மாறுதலை அடைந்துவிடும். சிவப்பு நிற விண்மீன்களாகிய திருவாதிரையும் (Betelgeux) அன்டேரிஸும் (Antares), பன்னிரண்டாவது, பதினாறுவது வெளிச்ச மடங்குள்ளவைகளாகக் (order of brightness) காணாமல், வானத்தில் இரண்டு அதிக வெளிச்சமுடைய விண்மீன்களாக அமையும். இப்பொழுது, எல்லாவற்றையும்விட அதிக வெளிச்சமுள்ள சீரியஸ் என்னும் விண்மீன் மூன்றாமிடம் பெற்றுவிடும். ஹெர்குலீஸ் (Hercules) என்னும் (புகழற்ற) விண்மீன் மண்டலத்தைச் (constellation) சேர்ந்த ஒரு விண்மீன், வானத்தில் ஆறும் இடம் பெற்றுவிடும். இந்த விண்மீன் α-ஹெர்குலீஸ் எனப்படும். இருநூற்று ஐம்பது விண்மீன்கள் இதைவிட அதிக வெளிச்சத்தை உடையன. மிகக்

குறைந்த வெப்பநிலையாகிய 2650 டிகிரியில் உள்ள இந்த α-ஹெர்குலீஸ் தன் கதிர்வீச்சு முழுவதையும் பார்க்க இயலாத வெப்பமாக வெளிவிடு கிறது. உதாரணமாக, 20,000 டிகிரி வெப்பநிலையுள்ள 'நீல விண்மீன்' (blue star) என்று சொல்லப்படும் η-ஆரிகீ (η-Aurigae) விண்மீனை விட 60 மடங்கு அதிக வெப்பத்தையும் ஐந்தில் நான்கு பங்கு ஒளியை யும் உடையதாயிருக்கிறது.

விண்மீன்களின் விட்டங்கள்

அநேக கோள்களின் விட்டங்களை அமைப்பது எளிது. புளூடோ (Pluto) என்னும் கோளைத்தவிர இவைகளெல்லாம் தொலைநோக்கியின் மூலம் காணும்பொழுது நம்மால் காணக்கூடிய அளவிற்குப் பெரிய வட்டத்தகடுகளாகத் தென்படுகின்றன. ஆனால், விண்மீன்கள் மிகத் தொலைவிலிருப்பதால் அவைகளின் விட்டத்தை அளக்க முடியாது. எந்த விண்மீனையும், நான்கு மைல் தூரத்திலிருந்து காணப்படும் ஒரு குண்டூசித் தலையைவிடப் பெரியதாகக் காணமுடியாது. தவிரவும், இதுவரை செய்யப்பட்ட தொலைநோக்கிகள் ஒன்றும் இவ்விதப் பொருள் களை ஒரு வட்டத்தகடளவுப் பெரிதாகக் காண்பிக்கக்கூடிய தன்மை யுடையதாக இல்லை. எல்லா விண்மீன்களும், அருகில் உள்ளவை கள் உட்பட, சிறியதாகிலும் பெரியதாகிலும், வெளிச்சப் புள்ளிகளாகத் தென்படுகின்றன. இதனால், இவைகளின் விட்டங்களைச் 'சுற்றி வளைத்த முறைகளினால்' தான் (roundabout method) அளக்கமுடி யும்—அதாவது, நேர்முறைகளில் அளக்கமுடியாது என்று பொருள்.

ஒரு விண்மீனின் தூரம் தெரிந்தால், அதன் வெளிப்படையான வெளிச்சத்திலிருந்து, அதன் வெளிச்ச அளவைச் (luminosity) சொல்லிவிடலாம். இதிலிருந்து, அதன் காணமுடியாத கதிர்வீச்சுக் கான தள்ளுபடி செய்து, அந்த விண்மீனின் மொத்த ஆற்றல் வெளிப் பாட்டை நிர்ணயித்துவிடலாம்—இவ்வளவு மிலியன் மிலியன் மிலியன் மிலியன் குதிரைத்திறன் என்று நிர்ணயிக்கலாம். அதன் மேற்புற வெப்ப நிலையை, அதன் நிறமாலையின் நுண்காட்சியிலிருந்து தெளிவு படுத்திக்கொண்டு, இதிலிருந்து சதுர அங்குலத்திற்கு மொத்த ஆற்றல் வெளிப்பாடு இவ்வளவு என்பதனைத் தெரிந்துகொள்ளலாம். இந்த இரண்டு விவரங்களிலிருந்தும், விண்மீனின் மேற்புறம் இவ்வளவு சதுர அங்குலம் என்று கணக்கிடுவது ஓர் எளிய வகுத்தல் முறையா லாகும். இஃது, உடனடியாக, விண்மீனின் விட்டத்தைக் கொடுக்கிறது. அசாதாரணமான பெரிய உருவத்தை உடைய விண்மீன்களின் விட்டங் களை, 'இன்டர்ஃபெராமீட்டர்' (Interferometer) என்னும் கருவியி னால், நேரிடைமுறையில் அளக்கலாம். ஒரு தொலைநோக்கி, ஒரு விண்மீனுக்குச் சரியாகக் குவிக்கும்பொழுது (focus), உண்மையில், நாம் காண்பது ஓர் ஒளிப்புள்ளியன்று. நாம் காண்பது ஒரு பெருவாரி

யான ஒளியும் இருளும் கலந்த வளையங்களால் சூழப்பட்ட ஒளிப் புள்ளியேயாகும். இதற்கு 'டிஃப்ராக்ஷன் பாட்டர்ன்' (diffraction pattern) என்று பெயர். இந்த வளையங்களின் பரிமாணத்திலிருந்து, விண்மீனின் பரிமாணத்தைச் சொல்லிவிடலாம் என்று நாம் நினைப்பது சரியன்று. ஏனென்றால், இரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்பு கொண்டவை அல்ல.

வளையங்கள் கருவியின் குறையைத் தெரிவிக்கின்றன. இந்த வளையங்களின் அளவு, தொலைநோக்கியின் ஒளியியல் வகுத்தலையும் பரிமாணத்தையும் பொறுத்திருக்கின்றன. 1868-ல் ஃபிஜோ (Fizeau) என்பவரால் கொடுக்கப்பட்ட முறையைவைத்து, பேராசிரியர் மிகல்சன் (Michelson) என்பவர், மேற்கூறிய குறைபாடுகளையே நல்ல முடிவு களுக்குப் பயன்படுத்திக்கொள்ளலாம் என்று காண்பித்தார். இதை, யொட்டி மிகவும் திறமை மிகுந்த, வியக்கத்தக்க இன்டர்ஃபெராமீட்டர் என்ற கருவியைக் கொடுத்தார். இது தற்கால வானநூல் ஆராய்ச்சி களுக்கு மிகவும் பயன்படக்கூடியதாக இருக்கின்றது. நடைமுறையில், இந்தக் கருவி ஒரு விண்மீனின் இரண்டு 'டிஃப்ராக்ஷன் பாட்டர்ன்'களை ஒன்றின்மேல் ஒன்றாகப் பொருத்தி ஒன்றற்கு மாறாக இன்னொன்றை அமைக்கிறது. இதிலிருந்து விண்மீனின் பரிமாணம் தெரிகிறது. ஒரு சில, பெரிய விண்மீன்களின் விட்டங்கள் இவ்வாறு கண்டுபிடிக்கப்பட் டிருக்கின்றன. ஆகையால், அவைகளின் பரிமாணங்களை நேரடியான நுண்காட்சியினால் தெரிந்துகொண்டுள்ளதாகக் கருதலாம். ஒவ் வொன்றிலும், நேரடியாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட விட்டம், மறைமுக மாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட விட்ட அளவுடன் ஏறக்குறைய பொருந்திய தாக இருக்கின்றது. முரண்பாடுகளிருந்தாலும், மிகவும் கருதக்கூடிய அளவிலில்லை. மேலும் சிவப்பு விண்மீன்கள் பக்கம் 147-ல் கூறியபடி 'சரியான முழுக் கதிர்வீச்சிகள்' அல்லாமையால் இந்த முரண்பாடு ஏற் படுகிறது.

மிகப்பெரிய விண்மீன்களுக்கே இன்டர்ஃபெராமீட்டர் பயன்படு கிறது. இன்னொரு பக்கத்தில் (அதாவது மிகச்சிறிய விண்மீன்களுக்கு) சார்புக்கொள்கைத் தத்துவம் (theory of relativity) பயன்படுகிறது.

அறிஞர் ஐன்ஸ்டைன் ஒரு விண்மீனின் நிறமாலை, அதன் பொருண்மை, விட்டம் இவைகளைப்பொறுத்து சிவப்பு எல்லைப்பக்கம் நகர்த்தப்படும் என்ற உண்மை, தன்னுடைய சார்புக்கொள்கைத் தத்து வத்தின் ஒரு கட்டாயமான விளைவு என்று காண்பித்திருக்கிறார். ஆகையினால், ஒரு விண்மீனின் பொருண்மை தெரிந்தால், நம்மால் காணக்கூடிய நிறமாலையின் மாற்றம், உடனடியாக அதன் விட்டத் தைக் கொடுக்கும். இந்த நிறமாலை மாற்றம் (spectral shift) சீரிய ஸின் உடனிருக்கும் ஒரு விண்மீனினுடைய ஒளியில் காணப்பட்டு,

அந்த மாற்றத்தின் அளவைக்கொண்டு, அந்த விண்மீனின் விட்டத்தைக் கணக்கிட்டதில், வெளிச்ச அளவிலிருந்து கணக்கிடப்பட்ட விட்டத்துடன் பொருத்தமாக இருந்தது. இரண்டு முனைகளிலும், அதாவது, பெரிய விண்மீன்கள் சிறிய விண்மீன்கள் இரண்டுவகைகளிலும், நேர்முகமாகக் கணக்கிடப்பட்ட விட்டங்களின் மதிப்புகள் மற்ற முறையிலிருந்து கிடைத்த மதிப்புகளை உறுதி செய்கின்றன. ஆகையினால், விண்மீன்களின் கணக்கிடப்பட்ட விட்ட அளவுகள், நேர்முகமாக அளக்கப்படாமல் போனாலும், நமக்கு நம்பிக்கையைக் கொடுக்கக்கூடியவைகளாக இருக்கின்றன.

விண்மீன்கள் தங்கள் முழு வெப்பநிலை-கதிர்வீச்சை வெளிப்படுத்துகின்றன என்ற அடிப்படையில்தான் அவைகளின் விட்டங்கள் கணக்கிடப்படுகின்றன. சராசரியான அளவுக்கு விண்மீன்கள் 'முழுக் கதிர் வீச்சிகள்' அல்லாவிட்டால் கணக்கிடப்பட்ட விட்டத்திற்கும், அளக்கப்பட்ட விட்டத்திற்கும், பொருத்தமற்ற வேற்றுமையை நாம் கண்டிருப்போம். இந்த வேற்றுமை இல்லாததனால், எல்லாவித விண்மீன்களும், சிறியதிலிருந்து பெரியதுவரை, கிட்டத்தட்ட, முழு வெப்பநிலை-கதிர் வீச்சையே வெளிப்படுத்துகின்றன என்று நம்பச்செய்கின்றன.

பலவகை விண்மீன்கள்

விண்மீன்களின் பொருள் சார்ந்த இயல்பு (physical characteristics) வெகுவாக மாறுகின்றன என்பதை நுண்காட்சிகள் நமக்குக் காண்பிக்கின்றன. ஆகையினால், விண்மீன்களின் அமைப்பை ஓர் உணர்ச்சி மிகுந்த கதையாகச் சொல்லமுடியும். வெளிச்ச மிகுந்ததை மங்கிய விண்மீனுக்கு எதிராகவும், பெரியதைச் சிறிய விண்மீனுக்கு எதிராகவும் வைத்துப் பார்க்கும்பொழுது இம்மாதிரியான கதையைச் சொல்வது எளியதாக இருக்கும் என்பதை வெகு விரைவில் காண்போம். ஆனால், இது வானத்திலுள்ளவர்களைப்பற்றி, நீதியற்ற அபிப்பிராயத்தைக் கொடுக்கும். இஃது ஒரு காட்சிக்காரனின் (showman's) கூடாரத்தில் காணப்படும் மிகப் பெரிய மனிதர்கள், மிகச் சிறிய மனிதர்கள், வலுவானவர்கள், உண்ணாவிரதம் மேற்கொண்டவர்கள் இவர்களைக்கொண்டு ஒரு நாட்டைப்பற்றித் தீர்மானிப்பதுபோல் அமையும்.

ஞாயிற்றின் அண்மையில் உள்ள விண்மீன்களின் இயல்பு நிலையை ஆராயும்பொழுது, விண்மீன்களை மொத்தமாக எடுத்தாலும், அவைகளின் வேறுபாடுகளைப்பற்றி ஒரு சமநிலை அபிப்பிராயத்தை அடைவோம். விண்மீன்களை, சரியாக அவைகள் காணப்படும் வரிசையில் எடுத்துக்கொண்டால், நாம் நெறிதவறி, இயல்புக்கு மாறாகவோ பிரத்தியேகமானதாகவோ இருக்கும் விண்மீன்களைப் புகுத்திவிட்டோம் என்ற ஐயப்பாடு இருக்காது. இவ்வாறு எடுக்கப்பட்ட விண்மீன்கள் ஒரு

சிறிய கூட்டாக இருக்கும். இது விண்மீன்களின் உண்மையான மாதிரியாக (sample) அமையும். இருந்தாலும், பெரிய விண்மீன், சிறிய விண்மீன், இவைகளைச் சேர்க்கப்படும் அளவிற்குப் பெரிய மாதிரி யாக அமையாது. ஞாயிற்றைப்பற்றி விரிவாகச் சொல்லவேண்டாம். ஏனென்றால், ஞாயிறு நம்முடைய ஒப்பனைக்கு ஏற்ற மூல விண்மீனாக அமையும். இதை ஒட்டித்தான் மற்ற விண்மீன்களைப்பற்றி ஆராய் வோம்.

α-சென்டாரி தொகுதி: இந்தத் தொகுதியில் வானவெளியில் நமக்கு நெருங்கிய தூரத்தில் உள்ள மூன்று விண்மீன்கள் உள்ளன.

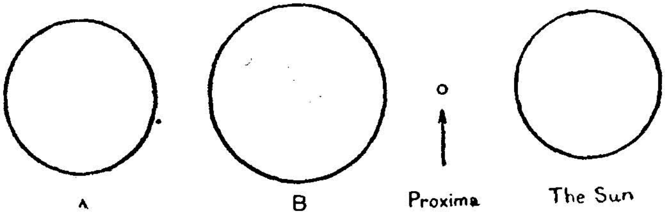
இவைகளில், மிக வெளிச்சமான α-சென்டாரி A, மிகுந்த அளவில் ஞாயிற்றைப்போல் உள்ளது. இதன் நிறம், நிறமாலை வகை இரண்டும் ஞாயிற்றினைப்போல் உள்ளன. இதன் எடை (weight) ஞாயிற்றைப் போல் 10 மடங்கும் இதன் வெளிச்ச அளவு ஞாயிற்றைவிட 14 சத வீதம் அதிகமாயும் இருக்கின்றது. ஞாயிற்றைப்போலவே இதன் நிறம் இருப்பதால், சதுர அங்குலத்திற்கு ஞாயிற்றின் கதிர்வீச்சு எவ்வளவோ, அவ்வளவே இதன் கதிர்வீச்சும் வெளிப்படுகிறது. இதனால் வெளிச்ச அளவு ஞாயிற்றைவிட 14 சதவீதம் அதிகமாயிருப் பது, இதன் மேற்புறம் ஞாயிற்றைவிட 14 சதவீதம் அதிகமாயிருக் கின்றது என்பதைக் காட்டுகிறது. ஆகையினால், இதன் விட்டம் ஞாயிற்றின் விட்டத்தைவிட 7 சதவீதம் அதிகம்.

இரண்டாவது விண்மீனாகிய α-சென்டாரி B (α-Centauri B) என்பது ஞாயிற்றைவிட மிகச் சிவப்பாக இருக்கிறது. இதன் மேற்புற வெப்பம் 4400 டிகிரிகளாகும். ஞாயிற்றின் மேற்புற வெப்பம் 6000 டிகிரி அளவில் உள்ளது. இது, ஞாயிற்றின் பொருண்மையில் 89 சதவீதப் பொருண்மையுள்ளதாக இருக்கிறது. ஆனால், இதன் வெளிச்ச அளவு, ஞாயிற்றினுடையதில் மூன்றில் ஒரு பங்கேயாகும். ஆகையினால், ஞாயிற்றின், கதிர்வீச்சில் மூன்றில் ஒரு பங்கு கதிர்வீச்சை வெளியிடு வதற்கு இதற்கு ஞாயிற்றைவிட 50 சதவீதம் அதிக மேற்புறம் வேண்டும். இதற்குக் காரணம், இதன் வெப்பநிலை மிகக் குறைவாக இருப்பதேயாம். இஃது அதன் விட்டத்தை ஞாயிற்றினுடையதைவிட 22 சதவீதம் அதிகப்படுத்துகிறது. α-சென்டாரி A, α-சென்டாரி B இவை இரண்டும் பார்க்கக்கூடிய இரட்டை விண்மீன்களாகும். இவை, ஒன்றை ஒன்று ஒருமுறை சுற்றிவர 80 ஆண்டுகள் ஆகின்றன.

இவைகளில் இரண்டும் ஞாயிற்றைப்போலவே அமைந்திருக் கின்றன. ஆனால், மூன்றாவது விண்மீனாகிய 'ப்ராக்சிமா சென்டாரி' (Proxima Centauri) என்பது மிகவும் வேறுபட்டதாக உள்ளது. இது சிவப்பு நிறமுடையதாக இருக்கின்றது. இதன் மேற்புற வெப்ப

நிலை 3000 டிகிரிகளாகும். இது மிகவும் மங்கலாக உள்ளது. ஞாயிற்றின் ஒளியில் இருபதினாயிரத்தில் ஒரு பங்கு ஒளியே வெளிப்படுத்துகிறது. ஆகையினால், இதன் விட்டம் ஞாயிற்றின் விட்டத்தில் 20-ல் ஒரு பங்காகும். இதன் பொருண்மை எவ்வளவென்று தெரியாது.

இந்த மூன்று விண்மீன்களின் பரிமாணங்களும், ஞாயிற்றின் பரிமாணத்துடன் ஒப்பிட்டவகையில், கீழே கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் 13ஆம் படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கின்றன.



படம் 13. α-சென்டாரித் தொகுதி (ஞாயிற்றுடன் ஒப்பிட்ட வகையில்)

மியுனிச் 15040 (Munich 15040): இது மங்கலான ஒரு தனி விண்மீன். இதைப்பற்றிய விவரங்கள் தெரியாது. இதன் மேற்புறம் சிவப்பாக உள்ளது. இதன் வெப்பநிலை 2500 டிகிரிகளுக்குமேல் இருக்கலாம். இது ஞாயிற்றின் ஒளியில் இரண்டாயிரத்தில் ஒரு பங்கு ஒளியை வெளிப்படுத்துகிறது.

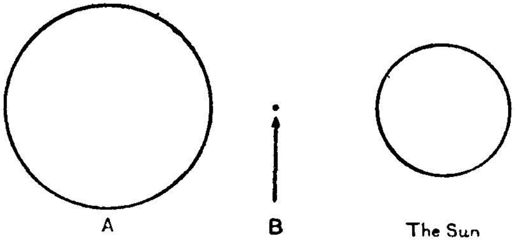
உல்ஃப் 359 (Wolf 359): இது மிக மங்கலான மூன்று விண்மீன்களில் ஒன்று. இதைத் தவிர இதைப்பற்றி ஒன்றும் தெரியவில்லை. இது சிவப்பாக இருக்கிறது. ஞாயிற்றின் ஒளியில் ஐம்பதினாயிரத்தில் ஒரு பங்கு ஒளியை வெளிப்படுத்துகிறது.

லாலாண்டே 21185 (Lalande 21185): மற்றொரு மங்கலான சிவப்பு விண்மீன். ஞாயிற்றின் ஒளியில் 160 பங்கில் ஒரு பங்கு ஒளியை உடையது.

சிரியஸ் தொகுதி அமைப்பு (The System of Sirius): இது பொருத்தமற்ற (இணைப்பில்லாது) இரண்டு விண்மீன்களைக் கொண்டது. இதில் மூன்றும் விண்மீன் ஒன்றிருக்குமோ என்ற ஐயப்பாடு உள்ளது.

இதில் முக்கியமானது சிரியஸ் *A* (Sirius *A*) என்னும் வானிலே மிக வெளிச்சமுள்ள விண்மீனாகும் (டாக்ஸ்டார்). இது நிறத்தில் வெண்மையாகவும், 11,000 டிகிரிகள் வெப்பநிலையுடையதாகவும் உள்ளது. இந்த வெப்பநிலை ஞாயிற்றினுடையதைக்காட்டிலும் இரண்டு மடங்கானதால், இது ஞாயிற்றைவிட, ஒரு சதுர அங்குலத்

திற்கு 16 மடங்கு அதிகக் கதிர்வீச்சை வெளிப்படுத்துகிறது. இதன் வெளிச்ச அளவு ஞாயிற்றைவிட 24 மடங்கு பெரியதாகும். இதற்கு, இந்த விண்மீனின் விட்டம் ஞாயிற்றின் விட்டத்தைவிட 50 சதவீதம் பெரிதாயிருக்கவேண்டும். இதன் கன அளவு ஞாயிற்றின் கன அளவைப்போல் மூன்றரை மடங்கும், ஆனால் இதன் பருமன் ஞாயிற்றைப்போல் 2·35 மடங்கும் உள்ளன. சிரியஸ் *A*-ல் உள்ள பொருள் ஞாயிற்றின் பொருளைப்போல் அவ்வளவு அடர்த்தியாக அமையவில்லை. ஒரு சராசரி கனமீட்டர், ஞாயிற்றில் 1·42 டன்கள் எடையுள்ளதாயிருக்கின்றது. ஆனால், சிரியஸ் *A*-ல் 1 டன் எடையுள்ள தாகும். இதனுடன் சேர்ந்திருக்கும் மங்கலான சிரியஸ் *B* என்பது வானத்தில் உள்ள விண்மீன்களில் ஒரு கவர்ச்சியுள்ள விண்மீனாகும். இது சிரியஸ் *A* யைப்போல் கிட்டத்தட்ட அதே நிறமுடையதாகும். இதன் நிறமாலைவகை சிரியஸ் *A*-யினுடையதாகும்; ஆனால், இது பத்தாயிரத்தில் ஒரு மடங்கு ஒளியைத்தான் வெளிப்படுத்துகிறது. மேற்புற வெப்பநிலையில் சிறிய வேற்றுமைக்கான தள்ளுபடியைச் செய்தபிறகு, இதன் மேற்புறம், சிரியஸ் *A*-யின் மேற்புறத்தில் மூவாயிரத்தில் ஒரு பங்காகவும், இதன் விட்டம் சிரியஸ் *A*-யின் விட்டத்தில் 55-ல் ஒரு பங்காகவும் உள்ளன என்றும் காண்கிறோம். இதன் பொருண்மை ஞாயிற்றைப்போல் 0·98, மடங்கு உள்ளது. ஆகையினால், சிரியஸ் *A* என்பது கன அளவில் 160,000 மடங்கானாலும் சிரியஸ் *B*-யைப்போல் 2·4 மடங்கு எடையுள்ளதாகவே இருக்கின்றது. ஆனாலும் சிரியஸ் *B* தான் (சிரியஸ் *A* அன்று) சிறப்பானது. சிரியஸ் *B*-ல் உள்ள பொருண்மையின் (matter) சராசரி அடர்த்தி தண்ணீரைவிட 80,000 மடங்குக்கு மேலாகும். ஒரு சராசரி கன அங்குலம் 1 டன்னுக்கு மேற்பட்ட பொருண்மை உடையதாகும். பதினான்காம் படம் (14) சிரியஸின் இரண்டு உறுப்புகளின் (components) பரிமாணங்களைக் காட்டுகிறது. இது 13ஆம் படத்தின் அளவிலேயே வரையப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 14. சிரியஸ் தொகுதி (ஞாயிற்றுடன் ஒப்பிட்ட வகையில்).

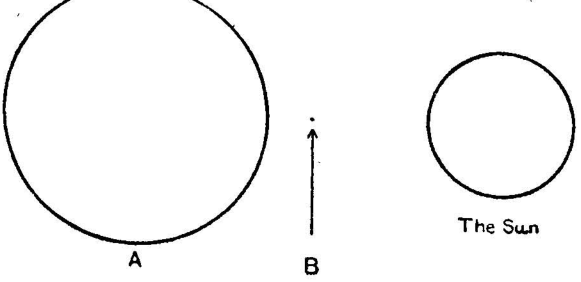
இந்த இரண்டு உறுப்புகளும் ஒன்றையொன்று ஒரு முறை சுற்றிவர 50 ஆண்டுகளாகின்றது. ஆகையினால், வானவெளியில் இவைகளின் அமைப்பை, ஏறக்குறைய ஞாயிறு, யுரேனஸ் இவைகளின்

அமைப்பிற்கு ஒப்பிடலாம். வானவெளியிலிருந்து வெளிப்பக்கமாகச் செல்லும்பொழுது ஆறு சிறப்பற்ற விண்மீன்களைப் பார்க்கிறோம். அவைகள் பின்வருமாறு :

ராஸ் 248 (Ross 248), எல் 789-6 (L 789-6), ராஸ் 154 (Ross 154): இவைகள் மிகவும் சிவப்பாக உள்ள விண்மீன்களில் மூன்றாகும். ஆகையினால், இவை நமக்குத் தெரிந்தவைகளுள் மிகவும் குளிர்ந்த விண்மீன்களாகும். ஞாயிற்றின் ஒளியில் முறையே 9000-த்தில் ஒரு பங்கும், 10,000-த்தில் ஒரு பங்கும், 2000-த்தில் ஒரு பங்குமான ஒளியை இவைகள் வெளிப்படுத்துகின்றன என்பதைத் தவிர, இவைகளைப்பற்றி ஒன்றும் தெரியவில்லை.

ε எரிடானி (ε Eridani), τ சிடி (τ Ceti): இவைகள் வெளிச்சமாக இருந்தாலும் திடமான அளவு ஞாயிற்றைவிடச் சிவப்பாகவும் குளிர்ந்ததாயும் உள்ள இரண்டு விண்மீன்களாகும். இவைகளில் ஒவ்வொன்றும் ஞாயிற்றின் ஒளியில் மூன்றில் ஒரு பங்கு ஒளியையே வெளிப்படுத்துகின்றன.

61 சிக்னி (61 Cygni): இவை இரட்டை விண்மீன்களாகும். இரண்டு உறுப்புகளும் ஞாயிற்றைவிடச் சிவப்பாகவும் குளிர்ந்ததாகவும் உள்ளன. இவைகளில் ஒன்று ஞாயிற்றின் ஒளியில் பதினான்கில் ஒரு பகுதியையும், மற்றொன்று பதினாறில் ஒரு பகுதியையும் வெளிப்படுத்துகின்றன. இரண்டு உறுப்புகளும் (விண்மீன்கள்) சேர்ந்து ஞாயிற்றைப்போல் $1\frac{1}{8}$ அளவு பொருண்மையையுடையதாக இருக்கலாம். இவைகள் ஒன்றை ஒன்று ஒருமுறை சுற்றுவதற்குச் சுமார் 720



படம் 15. புரோஸியான் தொகுதி (ஞாயிற்றுடன் ஒப்பிட்ட வகையில்)

ஆண்டுகள் ஆவதால் ஞாயிற்றுக்கும் புளூடோவுக்கும் இடையில் உள்ள தூரத்தைவிட இவைகளினிடையே உள்ள தூரம் அதிகமாகவே இருக்கலாம். இவைகளின் சுற்றுப்பாதையில் இயக்கம் (orbital

motion) தாறுமாருக இருப்பதால் (பக்கம் 50) இவைகளுடன், கறுப்பு நிறமுடைய மற்ருெரு பொருள் இருக்கக்கூடும் என்று காண்பிக்கிறது. இதன் பொருண்மை ஞாயிற்றினுடையதில் 16-ல் ஒரு பங்காக இருக்கும். இஃது இரட்டை விண்மீன்களில் ஒன்றை ஒருமுறை சுற்றிவரச் சுமாராக 4·9 வருடங்களாகும். ஆகையினுல், 61 சிக்னி (61 Cygni) என்பது அநேகமாக முத்தொகுப்பைச் சேர்ந்ததாக இருக்கலாம்.

புரோஸியான் தொகுதி (The System of Procyon): இது சிரியஸைப் போல் இரட்டைத் தொகுப்பைச் சேர்ந்தது. இதன் பிரதம விண்மீனுன புரோஸியான் *A* என்பது ஞாயிற்றைப் போன்ற பொது வகையைச் சேர்ந்தது. இதன் எடை ஞாயிற்றைவிட 48 சதவீதம் அதிகமாயும், இது வெளிப்படுத்தும் ஒளி ஞாயிற்றைப்போல் 6½ மடங்கும் உள்ளன. இதன் மேற்புற வெப்பநிலை சுமாராக 7000 டிகிரிகளாகும். இதன் விட்டம் கிட்டத்தட்ட ஞாயிற்றினுடையதைப்போல் இரண்டு மடங்காகும். இதனுடன் சேர்ந்திருக்கும் புரோஸியான் *B* என்னும் விண்மீன் மிகவும் மங்கியதாக இருப்பதால் அதன் உருவ அமைப்பைப்பற்றிய தகவல்கள் ஒன்றும் தெரியாது. ஆனுல், ஞாயிற்றின் ஒளியில் இரண்டாயிரத்தில் ஒரு பங்கு ஒளியை வெளியிடுகிறது என்பது தெரியும். இதன் எடை, ஞாயிற்றின் எடையில் 46 சதவீதமாகும்.

புரோஸியான் தொகுப்பைச் சேர்ந்த இந்த இரண்டு விண்மீன்களின் பரிமாணங்கள் 15ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. இந்தப் படம் முன்னர்ப் பயன்படுத்தப்பட்ட அளவிலேயே வரையப்பட்டிருக்கிறது. இந்த இரண்டு விண்மீன் உறுப்புகளும் ஒன்றை ஒன்று ஒருமுறை சுற்றிவர 40 வருடங்களுக்கு மேலாகிறது.

ஞாயிற்றினின்றும் அகன்று வரும்பொழுது, விண்மீன் வரிசையில் அடுத்தது, சிவப்பு விண்மீன் ε இண்டி (Red Star ε Indi) ஆகும். இது மங்கலாக உள்ளது. ஞாயிற்றின் ஒளியில் ஏழில் ஒரு பங்கு ஒளியை வெளிப்படுத்துகிறது. இதற்கு அடுத்தாற்போல் உள்ளவை, *M*-வகையைச் சேர்ந்த சிறப்பற்ற ஏழு விண்மீன்களாகும். இவைகள் ஒவ்வொன்றும் ஞாயிற்றைவிடச் சிவப்பாக உள்ளன. இவைகளின் வெப்பநிலை 3400 டிகிரிகளுக்குமேல் கிடையாது. இவைகளில், எதுவும் ஞாயிற்றின் ஒளியில் 5 சதவீதத்திற்கு மேலான ஒளியை வெளியிடுவதில்லை. ஏழில் ஐந்து, ஞாயிற்றின் ஒளியில் 160-ல் ஒரு பங்குக்கும் குறைவான ஒளியை வெளியிடுகின்றன. இவைகளுக்கு அடுத்தாற்போல் வருவது குருகர் 60 *A* (The System of Kruger 60) தொகுப்பு. இஃது இரட்டை விண்மீன் தொகுப்பாகும். தன் இரண்டு உறுப்புகளும் சிறியதாகவும், சிவப்பாகவும், மங்கியவைகளாகவும் உள்ளன. இதில், வெளிச்சம் மிகுந்த உறுப்பான குருகர் 60 *A* (Kruger 60 *A*), 3200

டிகிரிகள் மேற்புற வெப்பநிலையுடையது. இது ஞாயிற்றின் ஒளியில் 660-ல் ஒரு பங்கு ஒளியை வெளியிடுகிறது. இதன் விட்டம் ஞாயிற்றின் விட்டத்தில் 5-ல் ஒரு பங்கும், இதன் எடை ஞாயிற்றின் எடையில் கால் பங்குமாகும். ஆகையினால், இதன் பொருள் (substance) ஞாயிற்றை

படம் 16. குரூகர் 60 தொகுப்பு (ஞாயிற்றுடன் ஒப்பிட்ட வகையில்)

விட 30 மடங்கு அடர்த்தியாக (கட்டுப்பட்டு) இருக்கவேண்டும். இதைக்காட்டிலும் மங்கலான குரூகர் 60 *B* என்ற விண்மீன் உறுப்பு இதேபோன்ற மேற்புற வெப்பநிலையையுடையது. ஆனால், ஞாயிற்றின் ஒளியில் 2400-ல் ஒருபங்கு ஒளியையே வெளிப்படுத்துகிறது. இதன் (குரூகர் 60 *B*) விட்டம் ஞாயிற்றினுடையதில் 60-ல் ஒரு பங்காகும். எடை ஞாயிற்றினுடையதில் 7-ல் ஒரு பங்காகும். ஆகையினால், இதன் பொருள் ஞாயிற்றைவிட 70 மடங்கு அடர்த்தியாக இருக்க வேண்டும். இந்தத் தொகுப்பை 16ஆம் படத்தில் காணலாம். இதிலுள்ள இரண்டு உறுப்புகளும் ஒன்றை ஒன்று ஒருமுறை சுற்றிவர 44 வருடங்களாகின்றன.

இந்தத் தொகுப்பை அடுத்து வருவது ஒரு சிறப்பற்ற சிவப்பு விண்மீனாகும். இது ஞாயிற்றின் ஒளியில் 600-ல் ஒரு பங்கு ஒளியை வெளியிடுகிறது. இதற்கும் அடுத்து வருவது 'வான் மானன் விண்மீன்' (van Maanen's Star). இது மற்றொரு மங்கலான விண்மீன். இதன் மேற்புற வெப்பநிலை 7000 டிகிரிகளாகும். இஃது உயர்ந்த வெப்பநிலையாகும். இருந்தாலும் ஞாயிற்றின் ஒளியில் ஆறுயிரத்தில் ஒரு பங்கு ஒளியையே வெளிப்படுத்துகிறது. ஆகையினால், இதன் விட்டம் ஞாயிற்றின் விட்டத்தில் 110-ல் ஒரு பங்காகும். புவியைவிட பார்க்கப் போனால், சிறியதாயிருக்கும். இதன் எடை தெரியாது. இதன் பொருள், அநேகமாக சிரியஸ் *B*-யைவிட அடர்த்தியாக இருக்கலாம்.

இதற்கடுத்து வருவது, ஒரு தனிப்பட்ட (extraordinary) சிவப்பு நிறங்களைக்கொண்ட இரட்டை விண்மீன் தொகுப்பாகும். இதில் உள்ள இரண்டு விண்மீன்களும் ஒரு தனிப்பட்ட மங்கல் நிறமானவைகளாயும், ஒவ்வொன்றும், ஞாயிற்றில் 7000-ல் ஒரு பங்கு ஒளியை வெளிப்படுத்துவனவாகவும் உள்ளன. இதை அடுத்து மங்கலான சிவப்பு நிறமுடைய

நான்கு விண்மீன்கள் உள்ளன. இவற்றில், மிகுந்த வெளிச்சமுடைய விண்மீன் ஞாயிற்றின் ஒளியில் 150-ல் ஒரு பங்கு ஒளியை வெளியிடுகிறது. இதற்கடுத்தாற்போல் வருவது ∝ அக்விலி (∝ Aquilae). இது ஞாயிற்றைப்போல் 9 மடங்கு ஒளியை வெளிப்படுத்துகிறது. இது சிரியஸைப்போன்ற பொதுவகையிலும் நிறமாலைவகையிலும் சேர்ந்ததாகும். ஆனால், தெரிந்தமட்டும் இரட்டை விண்மீன் அன்று.

இன்னும் இரண்டு சிறப்பற்ற மங்கலான விண்மீன்களைக் கடந்த பிறகு ஞாயிற்றிலிருந்து 16 ஒளி ஆண்டு தூரத்திற்குச் சென்றுவிடுகிறோம். இத்துடன் நிற்பது நலம். ஏனென்றால், இதுவரை நாம் எடுத்துக்கொண்ட விண்மீன்கள், நம்முடைய வானத்தில் உள்ள விண்மீன்களின் சிறந்த மாதிரிகளாகும் (fair sample). இதைவிடத் தொலைவில் சென்றால், வெளிச்சம் மிகுந்த விண்மீன்கள்மட்டும் தெரிந்தவைகளாகவும், மங்கலான விண்மீன்களில் சில தெரியாதவைகளாகவும் உள்ள இடத்தை அடைவோம். நாம் எடுத்துக்கொண்ட சிறிய விண்மீன்களின் மாதிரியிலிருந்து முக்கியமாக நாம் தெரிந்துகொண்டது என்னவென்றால், வானத்தில் உள்ள விண்மீன்களில் பெரும்பான்மையானவை, ஞாயிற்றைவிடச் சிறியனவாகவும், குளிர்ந்தனவாகவும், மங்கலானவைகளாகவும் உள்ளன என்பதே. ஞாயிற்றைவிட வெளிச்சமாயுள்ள (ஒளிர்வாயுள்ள) விண்மீன்கள் இருக்கின்றன. இவைகள் விதிவிலக்கானவை. வானத்தில் சாதாரணமாக ஒரு விண்மீன் ஞாயிற்றைவிடச் சிறியதாயும், ஒளியற்றதாயும், மங்கலானதாயும் இருக்கின்றது.

விண்மீன்களின் பொருண்மையும் அநேகமாக இவ்வாறேயாகும். இந்த விண்மீன்களில் ∝ அக்விலியைத் தவிர (∝ Aquilae) கனமுடையதாயும், முக்கியமானதாயும் உள்ள விண்மீன்களின் பொருண்மையைப் பற்றி நமக்குத் தெரியும். இந்த விண்மீன்களைப்போல் உள்ள நமக்குத் தெரியாத மற்ற விண்மீன்களின் பொருண்மையையும், இவைகளுடன் ஒப்பிட்டுக் கணக்கிட்டறியலாம். இவ்வாறு கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பொருண்மைகள் ஏறக்குறைய சரியானவைகளாகவே இருக்கும். தோராயமாகக் கணக்கிட்டுப் பார்த்தால், 16 ஒளி ஆண்டு தூரத்திற்குள் உள்ள 40 விண்மீன்களின் மொத்தப் பொருண்மை, ஏறக்குறைய 20·8 ஞாயிறுகளின் மொத்தப் பொருண்மையளவில் இருக்கும். இவ்வாறு ஒரு சாதாரணமான விண்மீனின் பொருண்மை, ஞாயிற்றின் பொருண்மையில் பாதிக்குமேலிருக்கும். இந்த 40 விண்மீன்களும், 16 ஒளி ஆண்டு நீளமான அரைவிட்டத்தைக்கொண்ட ஒரு கோளத்தினுள் (sphere) அடங்கும். இந்தக் கோளத்தின் கனஅளவு 17,200 கன ஒளி ஆண்டுகளாகும். ஆகையினால், 430 கன ஒளி ஆண்டுகளுக்கு ஒரு விண்மீன் உள்ளது—அதாவது, 7½ ஒளி ஆண்டுப் பக்கத்தை உடைய

ஒவ்வொரு மும்மடிப் பெருக்கத்திற்கும் (cube) ஒரு விண்மீன் உள்ளது. 800 கன ஒளி ஆண்டிற்கான விண்மீன் பொருண்மை (stellar mass) ஏறக்குறைய ஞாயிற்றினுடைய பொருண்மைக்குச் சமமாகும். காஸ்மிக் தூள், ஒளியற்ற விண்மீன்கள் (dark stars) அல்லது வாயு இவை களுக்காக எவ்வளவு பொருண்மையை மேற்கூறிய பொருண்மை அள வோடு சேர்க்கவேண்டும் என்பதுபற்றி நமக்குத் தெரியாது. ஆனல், கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள கணக்கு கவனிக்கத் தகுந்ததாகும். வானி லுள்ள பால் மண்டலத்தை (galaxy) அண்ட மட்டத்தில் (galactic plane) 60,000 ஒளி ஆண்டு அரைவிட்டமுடையதும் இதற்குச் (இந்த அண்ட மட்டத்திற்கு) செங்குத்துத் திசையில் மேற்சொன்ன அளவில் 12-ல் ஒரு பங்கு விட்டமுடையதுமான ஒரு நீண்ட கோள வடிவமாக (oblate spheroid) எடுத்துக்கொண்டால் பால் மண்டலத்தின் கன அளவு சுமாராக $7 \cdot 5 \times 10^{13}$ கன ஒளி ஆண்டுகளாகும்.

பால் மண்டலத்தின் மொத்தப் பொருண்மை ஞாயிற்றைப்போல் சுமாராக $1 \cdot 5 \times 10^{11}$ மடங்கு கன அளவாகையால் 500 கன ஒளி ஆண்டு கன அளவுடைய (பால் மண்டலத்தின்) வானவெளிப் பகுதி ஒவ்வொன் றின் பொருண்மையும், ஞாயிற்றினுடைய பொருண்மையளவாகும். இவ்வாறு, இந்தத் தொகுதி முழுவதிலும் உள்ள பலவிதப்பட்ட மண்டலங்களின் சராசரிப் பொருண்மை ஞாயிற்றுக்கு மிக அண்மை யில் உள்ள விண்மீன்களினுள்ளே உள்ள பொருண்மைகளைக்காட்டிலும் மிகப் பெரியவையாகும். உண்மையில் இது 60 சதவீதம் அதிகமாக உள்ளது. இதற்குக் காரணம் பால் மண்டலத்தின் நடுவில் விண்மீன் களும், பொருள்களும் மிகையாக இருக்கின்றன என்றோ, அல்லது பால் மண்டலத்தின் பொருட்செறிவில், பெரும்பாலும் விண்மீன்களல்லாமல் இதர பொருள்கள் இருக்கின்றன என்றோ கொள்ளலாம்.

இந்த (வானத்தின்) சராசரி முழுமைத் தொகுதியை வைத்து (sample of average population) விண்மீன்களின் தனிப்பட்ட இயல்புகளை முறையாக ஆராயலாம். முதலில் இவைகளின் பொருண் மையை எடுத்துக்கொள்ளலாம்.

விண்மீன் பொருண்மை

வானத்தின் முழுவதிலேயும் மிகக் குறைவான பொருண்மை யுடைய விண்மீன்கள் இரண்டு. அவைகளாவன: குரூகர் 60 தொகுதியைச் சேர்ந்த இரண்டு விண்மீன்களுள் மங்கலான விண்மீனும், o_2 எரிடானி (o_2 Eridani) என்ற மூன்று விண்மீன் தொகுதியைச் (triple system) சேர்ந்தவைகளுள் மிக மங்கலான விண்மீனுமாகும். பொருண்மைகளைப்பற்றியவரை நமக்குத் தெரிந்த விண்மீன்கள் வெகு சில. ஆகையினுல் விண்மீன்களின் பேரண்

டத்திலேயே (universe of stars) மிகக் குறைவான பொருண்மை யுள்ள விண்மீன்கள் இவை இரண்டும்தான் என்று நாம் நினைப்பது முறையாகாது. பார்க்கப்போனால், 61 சிக்னியின் மூன்றுவது உறுப்பின் (விண்மீன்) பொருண்மை ஞாயிற்றின் பொருண்மையில் 60-ல் ஒரு பங்காக இருக்கலாம் என்று நாம் பார்த்தோம். இருந்தாலும், இஃது ஒரு விண்மீனு அல்லது ஒரு கோளா என்பது தெளிவாக வில்லை. பொதுப்படை ஆராய்ச்சியில், இப்பொழுதுள்ள நிலையில் மேற் சொன்னவைகளைவிடச் சிறிய பொருண்மைகளுடைய விண்மீன்கள் இருக்கலாம் என்று தோன்றுகிறது. ஆனால், நமக்குத் தெரிந்த அளவைக்காட்டிலும் மிகவும் குறைந்த பொருண்மைகளுடையதாக இருக்கமுடியாது. மிகச் சில விண்மீன்களே ஞாயிற்றின் பொருண்மை யில் பத்தில் ஒரு பங்கு பொருண்மையுடையவைகளாக இருக்கலாம்.

பெரும்பான்மையான விண்மீன்கள், இதற்கும் (10-ல் ஒன்று) ஞாயிற்றின் பொருண்மையில் பத்து மடங்கான பொருண்மை அளவிற்கும் இடையில் உள்ள பொருண்மையை உடையதாக இருக்கின்றன. ஞாயிற்றைப்போல் மூன்று மடங்கு பொருண்மையுடைய விண்மீன்களே அரிது. புவியின் அருகில் உள்ள (நாம் எடுத்துக்கொண்ட) 39 விண்மீன்களுள் ஒன்றுகூட இவ்வாறு அமையவில்லை. இப்படி யிருக்க ஞாயிற்றைப் போல் 10 மடங்கு பொருண்மையுள்ள விண்மீன்கள் மிக அரிது. 100,000 விண்மீன்களுள் ஒன்றே இவ்வாறு (10 மடங்குள்ள தாக) இருக்கலாம். இவைகளைவிட அதிகப் பொருண்மை உடைய விண்மீன்கள் இருக்கின்றன. ஞாயிற்றைப்போல் 75 மடங்கும், 63 மடங்கும் பொருண்மையுள்ள இரட்டை விண்மீன்களாகிய, பிளாஸ்கட்ஸ் விண்மீனும் ஞாயிற்றைப்போல் 100 மடங்கு பொருண்மையுள்ள டிரம்ப்ளர் விண்மீன்களும் (Trumpler stars) உள்ளன என்பதை நாம் கண்டோம். ஆனால், இம்மாதிரி யுள்ளவை வெகுவெகு அரிது. விண்மீன்களின் பொருண்மைகளை $\frac{1}{10}$ முதல் 10 மடங்கு வரையில் ஞாயிற்றின் பொருண்மையைக் கொண்டவைகளாகப் பிரிக்கலாம். விண் மீன்களின் மாறுபாடுகள் பொருண்மையைவிட, மற்ற பௌதிக அமைப்பில்தான் (physical characteristics) அதிகமாக இருக்கும்.

வெளிச்ச அளவு

விண்மீன்களின் வெளிச்ச அளவு ஒரு விரிவான அளவில் அமைந் திருக்கின்றது. இந்த வெளிச்ச அளவு ஞாயிற்றின் வெளிச்ச அளவை ஒரு வத்தித்திறனக (candle power) வைத்து அளக்கப்படுகின் றது. சரியானபடி நிர்ணயிக்கப்பட்ட வெளிச்ச அளவுகளுள்ள விண்மீன்களில் மிக மங்கலான வெளிச்சத்தை உடையது உல்ஃப் 359 (Wolf 359) என்னும் விண்மீனேயாகும். இது ஞாயிற்றின் ஒளியில்

50,000-ல் ஒரு பங்கு ஒளியை வெளிப்படுத்துகிறது. இருந்தாலும், *L* ·789-6 என்னும் விண்மீனின் பீடிகை (preliminary) வெளிச்ச அளவு ஞாயிற்றினுடையதில் 300,000-ல் ஒரு பங்காகும்.

வளர்ச்சிப் படிமுறையில் (scale) அடுத்த கோடியில் உள்ளவை, 'ஸூபெர்நோவி' (supernovae) என்று சொல்லப்படும் (எல்லா வற்றையும்விட) அதிக வெளிச்சமுள்ள விண்மீன்கள். இதைப்பற்றி ஏற் கெனவே கூறப்பட்டது (பக்கம் 62). சில மாதங்களுக்கு (வெளிச்சத்தில்) அருவமாகக் காட்சி அளித்து தானகவே மறைந்துபோகும். இதுவரை யில் காணப்பட்டவைகளுள் மிக வெளிச்சமுள்ள ஸூபெர்நோவி, நெபுலா *IC* 4182-ல் உள்ளதாகும். இது 1937-ல் ஆகஸ்டு மாதத்தில் காணப்பட்டது. இதன் அதிகபட்ச வெளிச்ச அளவு 350 மிலியன் ஞாயிறுகளின் வெளிச்ச அளவுக்கு ஒப்பாகும். இந்த நெபுலாவின் தூரத்தைப்பற்றிச் சிறிது ஐயப்பாடு உள்ளது. இதனல் நாம் கணக் கிட்டிருக்கும் வெளிச்ச அளவு அதிகமாக இருக்கலாம். இருந்தாலும் 100 மிலியன் ஞாயிறுகளுக்கு ஒப்பான வெளிச்சத்தை உடைய ஸூபெர் நோவிகள் இருக்கின்றன என்பதில் ஐயமில்லே. இவைகளேயும், மற்றபடி தாற்காலிகமாகவும், திடீரெனவும் தோன்றும் வெளிச்சங் களேயும் தள்ளிவிட்டால், அடுத்தபடியாக உள்ளது, நிரந்தரமான விண் மீன்களுள் மிக வெளிச்சமுடையதான எஸ் டோராடஸ் (*S* Doradus) என்னும் விண்மீனுகும். இஃது ஒரு மாறும் விண்மீன் (variable star). இதன் சராசரி வெளிச்ச அளவு, குறைந்தபட்சம் 300,000 ஞாயிறு களுக்கு ஒப்பாகும். இதைப்போல் பலமடங்கும் இருக்கலாம்.

விண்மீன்களின் வெளிச்ச அளவும், பொருண்மையும் ஞாயிற்றை ஒரு மத்தியதர விண்மீனுக ஆக்குகிறது. வெளிச்ச ஒளி அளவையில் இரண்டு முனைகளுக்கு இடையில் உள்ளதால் இதை மத்திய தரம் என்று சொல்கிருேம். ஆனல், ஞாயிற்றைவிட மேலான வெளிச்ச அளவுகளே உடைய விண்மீன்களேக்காட்டிலும், குறைந்த வெளிச்ச அளவுகளே உடைய விண்மீன்களே மிக அதிகமாக உள்ளன என்று பார்த்தோம். மிகவும் மங்கலாக உள்ளதால் நம் நுண்காட்சிக்கு அகப் படாமல்போன விண்மீன்களேப்பற்றி நமக்கு ஒன்றும் தெரியாது. விண்மீன்களின் எடை வரிசை (range of stellar weights) மித மாகையால் அவைகளின் வெளிச்ச அளவு வரிசை, இதனுடன் ஒப்பிட் டுப் பார்க்கும் அளவில், மிகப்பெரிதாக உள்ளது. எஸ் டோராடஸின் வெளிச்சம், எல் 789-6-னுடைய வெளிச்சத்தைப்போல் 90,000,000,000 மடங்காகும். ஞாயிற்றை ஒரு மெழுகுவத்தியாக வைத்தால், இத னுடன் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கும்பொழுது உல்ஃப் 359, எல் 789-6 என்ற இரண்டும் ஒரு விளக்குப் பூச்சியைவிடக் குறைவான வெளிச்சமுடைய தாகும். இதே அளவில் எஸ் டோராடஸ் என்பது ஒரு கலங்கரை

விளக்காகவும் (lighthouse) ஸூபெர்நோவிகள் தீப்பிடித்த நகரங்களாகவும் இருக்கும். திடீரென ஞாயிறு எஸ் டோராடஸின் அளவு ஒளியை வெளிப்படுத்தினுல், புவியும் புவியிலுள்ள பொருள்களும் கிட்டத்தட்ட 7000 டிகிரிகள் வரையில் உள்ள வெப்பநிலையை அடைந்து விடும். ஆகையினுல், புவியும், புவியில் வாழும் நாமும் ஆவியினுலான முகிலாக (cloud of vapour) மாறிவிடுவோம். மற்றொரு பக்கம், ஞாயிற்றின் ஒளி உல்ஃப் 359-ன் ஒளியின் அளவிற்குக் குறைந்து போனுல் நடுப்பகலில் ஞாயிற்றை, புவியின் மத்தியதரக் கோட்டின் பக்கம் இருப்பவர்கள் வெப்பம், ஒளி இவைகளைப் பொறுத்தவரை 200 கெஜங்களுக்கப்பால் தென்படும் ஒரு நிலக்கரி நெருப்பாகக் காண்பார்கள். அப்பொழுது நாமெல்லோரும் கெட்டியாக உறைந்துவிடுவோம். புவியின் வளிமண்டலமும் இவ்வாறே ஆகிவிடும். நாம் பார்த்தவரை ஞாயிறு எஸ் டோராடஸைப்போல் ஆகிவிடாது. ஆனுல், உல்ஃப் 359-ஐப் போல் ஆகலாம் என்று நினைத்தால், அதை முற்றிலும் கற்பனைக் கனவாகக் (visionary dream) கருத முடியாது என்பதைப் பிறகு பார்ப்போம்.

மேற்புற வெப்பநிலையும் கதிர்வீச்சும்

ஞாயிற்றின் அருகில் உள்ள விண்மீன்களுள் ஸிரியஸ் என்னும் விண்மீன் உயர்ந்த அளவு மேற்புற வெப்பநிலை உடையது. சுமாராக, 11,000 டிகிரிகளாகும்—அதாவது ஞாயிற்றைப்போல் இரண்டு மடங்காகும். இன்னும் தள்ளிப்போனுல் இதைவிட அதிக மேற்புற வெப்பநிலையுள்ள விண்மீன்களைக் காணலாம். உதாரணமாக, பிளாஸ்கட் விண்மீன் 28,000 டிகிரிகள் மேற்புற வெப்பநிலையுடையது. மூன்று O-வகை விண்மீன்கள் (உல்ஃப்-ராயட் வகையைச் சேர்ந்த—Wolf-Rayet class) 110,000 டிகிரிகளும், 95,000 (2) டிகிரிகளுமான வெப்ப நிலைகளை உடையனவாகவும், நோவா அக்விலி என்பது அதிகபட்சம் 65,000 டிகிரிகள் வெப்பநிலை யுடையதாகவும் இருக்கின்றன. ஆனுல், மிகவும் அதிகமான மேற்புற வெப்பநிலைகளை நிர்ணயிப்பதில் ஏராளமான உறுதியற்ற நிலைகள் (uncertainty) இருப்பதை ஒப்புக்கொள்ளவேண்டும். மற்றொரு முனையில், 2500 டிகிரிகள் (சுமாராக) வெப்பநிலையுடைய விண்மீன்கள் மலிந்து கிடக்கின்றன. மிகவும் குறைந்த வெப்பநிலையுள்ள விண்மீன்கள் மிகப் பெரியதாகவும் சிவப்பாகவும் உள்ள விண்மீன்களாகவே இருக்கின்றன. இவைகள் நீண்டகாலப் பகுதியில் மாறக்கூடியவைகளாக (long period variables) உள்ளன. இம்மாறுதலாவது, முக்கியமாக இந்த விண்மீன்களின் மேற்புற வெப்பநிலை மாற்றங்களினுல் ஏற்படும் ஒளிமாறுதலாகும். மிகக் குறைந்தபட்சம், இந்த விண்மீன்களின் வெப்பநிலை 1650 டிகிரிகள் கீழ்ப்படி அளவுக்கு இருக்கும். இஃது ஒரு சாதாரண நிலக்கரி நெருப்பின் வெப்பநிலையைக்காட்டிலும் சிறிது அதிகம்.

இவைகளில் அநேக விண்மீன்களின் வெப்பநிலை பெரும் அளவுக்கு மாறுதலடைகின்றன. ஆனால், இந்த விண்மீன்களைப் பார்க்கமுடியாத அளவுக்குக் குறைந்துவிடுவதில்லை. இவ்வாறு, சுமார் 2500 டிகிரி வெப்பநிலைக்குக் குறைவான வெப்பநிலை இடையளவு (range of temperature) ஒன்றிருக்கின்றது என்பதையும், இந்த அளவில் உள்ள வெப்பநிலையையுடைய விண்மீன்கள் இல்லை என்றும் அறிகிறோம். நீண்டகாலப் பகுதியில் மாறும் விண்மீன்கள் இதற்கு விலக்கு. ஆனால், இவை குறித்த காலங்களில்தான் இந்த அளவுப்பகுதியைச் சேர்ந்தவைகளாக இருக்கும். இதிலிருந்து வானத்தில் முற்றிலும் வெளிச்சமில்லாத விண்மீன்கள் மிகக் குறைவு என்று தோன்றுகிறது.

இப்பொழுது விண்மீன்களின் மேற்புற வெப்பநிலைகளைப்பற்றித் தெரிந்த அளவில், இவைகளின் அளவு (வீச்சு) சுமார் 60,000 டிகிரிகள் முதல் 2500 டிகிரிகள்வரை என்று கொள்ளலாம். இதன் கீழ்ப்படி அளவு மிகக் குறைந்த வெப்பநிலையுள்ள நீண்டகாலப் பகுதியில் மாறும் விண்மீன்களுக்குச் சுமார் 1650 டிகிரிகளாகும்.

இந்த நீண்டகாலப் பகுதியில் மாறும் விண்மீன்களைத் தவிர, இந்த அளவு 24-க்கு 1 பங்கு அளவு விகிதமாக இருக்கின்றது. ஆகையினால், விண்மீன்களின் வெப்பநிலை, அவைகளின் வெளிச்ச அளவு, எடை இவைகளைக்காட்டிலும் ஒருதன்மைத்தாக (uniform) இருக்கிறது. ஒரு விண்மீனின் மேற்புற வெப்பநிலையைக்காட்டிலும், ஒரு சதுர அங்குலத்திற்கான அதன் கதிர்வீச்சே மிகவும் முக்கியமாகும் என்பதை நாம் நினைவில் வைக்கவேண்டும். இதனால் மேற்புற வெப்பநிலையில் 24-க்கு 1 என்ற அளவின் விகிதம், கதிர்வீச்சில் 330,000-க்கு 1 என்ற விகிதமுடைய அளவாக மாறும். நீண்டகாலப் பகுதியில் மாறும் விண்மீன்களையும் சேர்த்துக்கொண்டால் இந்த அளவு விகிதம் 1,750,000-க்கு 1 என்று மாறும். ஞாயிறு ஒரு சதுர அங்குலத்திற்கு 50 குதிரைத்திறன் ஆற்றலை வெளிப்படுத்துகிறது. 1650 டிகிரிகள் மேற்புற வெப்பநிலையையுடைய ஒரு விண்மீன், சதுர அங்குலத்திற்கு முன்கூறிய ஆற்றலில் மூன்றில் ஒரு பங்கு ஆற்றலையே வெளிப்படுத்துகிறது. 28,000 டிகிரிகள் மேற்புற வெப்பநிலையையுடைய ப்ளாஸ்கட் விண்மீன் (Plaskett's star) சதுர அங்குலத்திற்குச் சுமாராக 28,000 குதிரைத்திறன் அளவுள்ள ஆற்றலை வெளிப்படுத்துகிறது. சாதாரணமாகச் சொல்லப்போனால், கடைசியில் கூறப்பட்ட விண்மீனின் மேற்பரப்பின் ஒவ்வொரு சதுர அங்குலமும் வெளிப்படுத்தும் ஆற்றல், ஒரு பெரிய கப்பலை மணிக்கு—மணிகளாக, நூற்றாண்டுக்கு—நூற்றாண்டுகளாக முழு வேகத்தில் செலுத்தும். 70,000 டிகிரிகள் வெப்பநிலையையுடைய ஒரு விண்மீனின் மேற்புறத்தின் ஒரு சதுர அங்குலத்திலிருந்து வெளிப்படும் ஆற்றல் முன்கூறிய ஆற்றலைப்போல் 40 மடங்காகும்—அதாவது

சதுர அங்குலத்திற்கு ஒரு மிலியன் குதிரைத்திறன் அளவிற்கு இருக்கும்.

அளவு

மிகப் பெரிய விட்டங்களை உடைய நான்கு விண்மீன்கள் பின்வருமாறு :

விண்மீன்	ஞாயிற்றினுடைய விட்டத்திற்கு ஒப்பிட்ட விட்டம்	விட்டத்தின் நீளம் (மைல்களில்)
அன்டாரிஸ்	450	390,000,000
α ஹெர்குலீஸ்	சுமாராக 400	346,000,000
o செடி (அதிகபட்சத்தில்)	300	260,000,000
திருவாதிரை—		
அதிகபட்சத்தில் ...	355	306,000,000
குறைந்தபட்சத்தில் ...	210	182,000,000

இந்த விட்டங்கள் எல்லாம் நேர்முகமாக இன்டர்ஃபெராமீட்டர் மூலம் அளக்கப்பட்டவை. ஞாயிற்றை ஒரு 6-பென்னி (நாணயம்) அளவுள்ளதாகக் காண்பிக்கும் அளவையில் (13-லிருந்து 16ஆம் படங்கள்வரை பயன்படுத்திய அளவையில்) o-செடியைக் காண் பிக்கும் வட்டம், ஒரு பெரிய அறையின் தரை அளவு இருக்கும். o-செடி (o-Ceti)யைச் சேர்ந்த இரண்டாம் விண்மீனின் விட்டம் ஒரு மணல் பொடியின் அளவு இருக்கும். மேற்சொன்ன ஒவ்வொரு விண் மீனின் விட்டங்களும், புவியின் சுற்றுப்பாதையின் விட்டத்தைக் காட்டிலும் அதிகமானவை என்பதிலிருந்து, இந்த விண்மீன்களின் பெரிய பரிமாணங்களைப்பற்றி ஒருவாறு அறியலாம். ஆகையினுல், ஞாயிறு, இந்த விண்மீன்களில் ஏதாவது ஒன்றின் அளவிற்கு விரிந்தால், நாம் இதனுள் (ஞாயிற்றினுள்) இருப்போம்.

பொருண்மையில், இந்த விண்மீன்கள் மெலிந்தனவாக உள்ளன. உதாரணமாக, அன்டாரிஸ் (Antares) என்பது ஞாயிற்றைக்காட்டிலும் 90,000,000 மடங்கு இடைவெளியை (space) உடையதாகும். ஆகை யினுல், ஞாயிற்றைப்போல் இதன் பொருள் அடர்த்தியாக அமைக்கப் பட்டால், இதன் எடை ஞாயிற்றைப்போல் 90,000,000 மடங்காகும். உண்மையில், அடர்த்தியின் வித்தியாசத்தினுல், இதன் எடை ஞாயிற் றின் எடையைப்போல் 40 அல்லது 50 மடங்கே உள்ளது. சராசரியில், ஞாயிற்றின் பொருளில், ஒரு டன் எடுத்துக்கொண்டால் இது, ஞாயிற்றில் ஒரு கன கெஜம் அளவில் பரவி இருக்கிறது. இதே எடைக்கு, அன்டாரிஸில் ஸெயின்டு பால் ஆலயத்தின் (St. Paul's Cathedral) உட்புறம் (முழுவதற்கும்) மேலான அளவில் பரவி இருக்கும். விண்மீன்களின் உட்புறங்களைப்பற்றிக் கூர்ந்து ஆராயும் பொழுது இந்தமாதிரியான சராசரி அளவுகள் அர்த்தமற்றதாக

உள்ளன. அன்டாரிஸின் நடுவிலிருக்கும் பொருள், கிட்டத்தட்ட ஞாயிற்றின் நடுவிலிருக்கும் பொருள் அவ்வளவு அடர்த்தியாகவே இருக்கலாம் (பக்கம் 224). ஆகையினால், அன்டாரிஸின் பெரிய அளவு இதனைச் சுற்றியுள்ள வளிமண்டலத்தின் மென்மையான வாயுவினாலான தாக இருக்கலாம். ஒருவேளை எஸ் டோராடஸ் என்பது இன்னும் பெரியதாயிருக்கலாம். இதை, ஒரு மறைக்கும் இரட்டை விண்மீன்கள் (eclipsing binary) என்றும், இதன் உறுப்புகளின் விட்டங்கள் ஒவ்வொன்றும் ஞாயிற்றைப்போல், குறைந்தது 1400, 1200 மடங்கு களாகும் என்றும் கோபாஷ்கின் (Goposchkin) என்பவர் கண்டு பிடித்திருக்கிறார். ε-ஆரிகி (ε-Aurigae) என்னும் மற்றொரு மறைக்கும் இரட்டை விண்மீன்களில் பெரிய உறுப்பின் விட்டம், ஞாயிற்றின் விட்டத்தைப்போல் 3000 மடங்குகளாகும். அதாவது 2600 மிலியன் மைல்களாகும். கோள் நெபுலாக்களை (planetary nebulae), இவை களைவிட அதிகமான விட்டங்களையுடைய விண்மீன்கள் என்று கருதலாம். மிக அதிக மேற்புற வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு மங்கிய விண்மீனை அணுக்கருவாகக்கொண்டு, இதைச் சுற்றிலும் ஒரு புகை போன்ற அமைப்பு உள்ளதால் இதற்கு இந்தப் பெயர் ஏற்பட்டது. இது மேற்சொன்ன ஆறு விண்மீன்களின் வளிமண்டலத்தைவிடப் பெரிய வளிமண்டலமாகவே இருக்கலாம். லிரா (Lyra)வைச் சுற்றி யுள்ள வட்டமான புகை அமைப்பின் (nebulosity) (படம் 2, ஒளிப் படம் VI பக்கம் 27) விட்டம் நான்கு மிலியன் மிலியன் மைல்கள் என்று வான் மானன் (van Maanen) என்பவர் கண்டுபிடித்திருக்கிறார். அவர் கண்டறிந்த மற்ற 21 நெபுலாக்களின் சராசரி விட்டம் ஓர் ஒளியாண்டு அல்லது கிட்டத்தட்ட 6 மிலியன் மிலியன் மைல்கள். இந்தப் புகை அமைப்பு (விண்மீனின் வளிமண்டலத்தைப்போல் அல்லாமல்) தெளிவாக இருக்கின்றது. வட்ட நெபுலாவினுள் (Ring Nebula) மிலியன் மிலியன் மைல்கள் தூரத்திற்குப் பார்க்கலாம். ஆனால், ஒரு சாதாரண விண்மீனின் வளிமண்டலத்தினுள் மடங்கு அளவில் பத்து மைல்கள், அல்லது நூறு மைல்களுக்குமேல் காணமுடியாது.

அளவில் இன்னொரு கோடியில் இருப்பது வான் மானன் விண்மீன் (van Maanen's star) என்று சொல்லப்படும் மிகச் சிறிய விண் மீனாகும். இஃது ஏறக்குறைய புவியின் அளவு இருக்கும். இதேமாதிரி யான விண்மீன்களை ஒரு மிலியனுக்குமேல் எடுத்து ஞாயிற்றினுள் அடைத்தால் ஞாயிற்றில் இன்னும் இடைவெளி இருக்கும். இருந்தாலும் இதன் எடை ஞாயிற்றினுடைய எடைக்கு ஒப்பானதாகவே இருக் கின்றதே தவிர புவியினுடையதற்கு அன்று. ஊகமாகச் சொன்னால், இதன் எடை ஞாயிற்றினுடையதில் 5-ல் ஒரு பாகமாகும். புவியின் அளவுள்ள ஒரு கோளத்தில் ஞாயிற்றில் 5-ல் 1 பங்கு பொருளை நிரப்ப வேண்டுமானால், ஒரு சராசரி டன் எடையுள்ள பொருளை ஒரு செர்ரி

(cherry) அளவுள்ள கோளத்தில் அடைக்கும்படியாகும். அதாவது, 1 கன அங்குலத்திற்கு 6 டன்களாகும். புவியின் திண்பொருள், அதனுடைய (புவியின்) அணுக்கள் மிக அடர்த்தியாக அமைந்திருக்கின்றன என்பதைக் காண்பிக்கிறது. ஆனால், வான் மானன் விண்மீனின் அணுக்கள் இதைப்போன்று 66,000 மடங்கு அடர்த்தியாக அமைந்திருக்கவேண்டும்.

இஃது எவ்வாறு ஆகிறது? இதற்கு, நாம் பார்க்கப்போவதுபோல் (பக்கம் 227) ஒரே ஒரு விடைதான் இருக்கிறது. அணு பெரும்பாலும் வெற்றிடமாக இருக்கிறது—உதாரணமாக ஒரு கார்பனின் அணுவை ஆறு குளவிகள் பரந்துகொண்டிருக்கும் வாடர்லூ (Waterloo) ரயில் நிலையத்திற்கு ஒப்பிட்டோம். இந்த அணுவை இதனின் வெவ்வேறு பாகங்களாகப் பிரித்தெடுத்து, பிறகு அவைகளை முடிந்தவரை மிக நெருக்கமாக ஒன்றுசேர்த்தால் எப்படி இருக்குமோ அதேபோல்தான் வான் மானன் விண்மீனின் பொருள் அடக்கம் உள்ளது. வாடர்லூ நிலையம் முழுவதிலும் அலையக்கூடிய ஆறு குளவிகளை ஒரு சிறிய பெட்டியில் அடைத்துவிடலாம் (இதேபோல்தான் மேற்சொன்ன வகையும்).

பெருமீன்களும் குறுமீன்களும் (Giants and Dwarfs)

நாம் கூறிய எடைகளின் எல்லையினுள் தொடர்வரிசையாகப் பல விண்மீன்கள் உள்ளன. இதேபோல்தான் வெப்பநிலையின் எல்லைகளும், நிறங்களின் எல்லைகளும், பரிமாணங்களின் எல்லைகளும் உள்ளன.

இந்தக் குறிப்பிட்ட எல்லைக்குள் நீங்கள் கேட்கும் எடைக்கோ, அல்லது நிறத்திற்கோ, அல்லது பரிமாணத்திற்கோ ஏற்ற விண்மீனை என்னால் எடுத்துக்காட்டமுடியும். இதனால் எடை, நிறை, பரிமாணம் இவைகள் எல்லாவற்றையும் ஒருங்கே சேர்த்துக் குறிப்பிடமுடியும் என்றும், அப்படிக் குறிப்பிடப்பட்ட விண்மீனை நான் எடுத்துக்காட்ட முடியும் என்றும் நினைக்கக்கூடாது. எடை சரியாக இருக்கலாம்; நிறம் தவறாக இருக்கலாம். உதாரணமாக, நீங்கள் ஒரு சிவப்பு விண்மீனைக் கேட்டால், எடை மிக அதிகமாக உள்ள விண்மீனையோ அல்லது எடை மிகக் குறைவாக உள்ள விண்மீனையோ என்னால் கொடுக்கமுடியும். ஆனால், நடுத்தரமான எடையை உடைய விண்மீனைக் கேட்பதில் பலனில்லை. ஏனென்றால், நமக்குத் தெரிந்தவரையில் நடுத்தர எடையுடைய சிவப்பு விண்மீன்கள் கிடையாது. இதேமாதிரிதான் அளவும் அமைந்திருக்கிறது. நடுத்தர அளவை உடைய சிறப்பு விண்மீன்கள் கிடையா. 1905ஆம் வருடத்தில், லீடனைச் சேர்ந்த பேராசிரியர் ஹெர்ட்ஸ்ப்ரங்கு (Professor Hertzsprung of Leiden) என்பவர் சிவப்பு விண்மீன்களைப் பெரிய பரிமாணங்களுடையனவாகவும், சிறிய

பரிமாணங்களுடையனவாகவும், ஒரு கூர்மையான பாகுபாட்டின்படி பிரித்திருக்கிறார். இவைகளைப் 'பெருமீன்கள்' (Giants) என்றும் 'குறுமீன்கள்' (Dwarfs) என்றும் குறிப்பிட்டார். 1913-ல் ரஸ்ஸல் என்னும் அறிஞர், இதைப்பற்றி மீண்டும் ஆராய்ச்சி செய்து ஹெர்ட்ஸ்ப்ரங்கின் பாகுபாட்டை ஆமோதிப்பதன்றி, சிவப்புநிற விண் மீன்களைத் தவிர, மற்ற நிறங்களை உடைய விண்மீன்களையும் இவ்வாறே பிரிக்கலாம் என்று முடிவு கூறினார். நம்மிடம் வரிசையாகப் பல ஏணிகள் இருப்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். இதில் ஒவ்வொன்றும் ஒரு நிறத்தை—சிவப்பு, ஆரஞ்சு, என்று குறிப்பதாக நினைப்போம். சிவப் பாக உள்ள எல்லா விண்மீன்களையும், சிவப்பு நிறத்தைக் குறிக்கும் ஏணியின் படிகளில், படிக்கு ஒன்றாக வைப்போம் (நினைப்போம்). இவைகளை வைக்கும்போது, அதனதன் வெளிச்ச அளவின்படி வைக்க வேண்டும் (மனம்போனபடி வைக்கக்கூடாது). மிகவும் அதிக வெளிச்ச அளவுள்ள விண்மீனை மற்ற எல்லாவற்றிற்கும்மேல் வைக்க வேண்டும். அநேக விண்மீன்கள் கிட்டத்தட்ட ஒரே வெளிச்ச அளவுள்ள தாக இருந்தால் அவைகளை ஒரேபடியில் வைக்கவேண்டும். நம் செய் முறையைத் தெளிவுபடுத்துவதற்கு, ஒவ்வொரு படியும் அதன் பின் னுள்ள படியின் வெளிச்ச அளவைப்போல் ஐந்து மடங்கைக் குறிக்கும் என்று வைத்துக்கொள்வோம். இதனால், ஒவ்வொரு படியும், ஒரு குறித்த வெளிச்ச அளவைக் குறிக்கின்றது என்பது திட்டமாகிறது.[1]

இந்த முறையை வைத்து, நாம் மேலே காண்போம். ஒவ்வொரு சிவப்பு விண்மீனையும் எடுத்து அதற்குத் தகுந்த படியின்மேல் வைப்போம். இந்தமுறையில் கிடைக்கும் அமைப்பை 17ஆம் படத்தில் பார்க்கவும். வெவ்வேறு விண்மீன்களும் பெருக்கல் குறிகளில் காட்டப் பட்டிருக்கின்றன. சிவப்பு விண்மீன்களின் அமைப்பு, படத்தின் வலப்புறத்தில் காண்பித்திருப்பதுபோல் இருக்கும். ஹெர்ட்ஸ்ப்ரங்கின் பெருவிண்மீன், குறுவிண்மீன் பாகுபாடு மிகத்தெளிவாகக் குறிக்கப் பட்டிருக்கின்றது. ஆரஞ்சு விண்மீன்களின் ஏணி, படத்தில், முன் கூறியதற்கு அடுத்தபடியாக இடப் பக்கம் உள்ளதாகும். ரஸ்ஸல் கண்டபடி, இந்தப் பாகுபாடு மறுபடியும் காணப்படுகின்றது; ஆனால் அவ்வளவு குறிப்பாக அன்று.

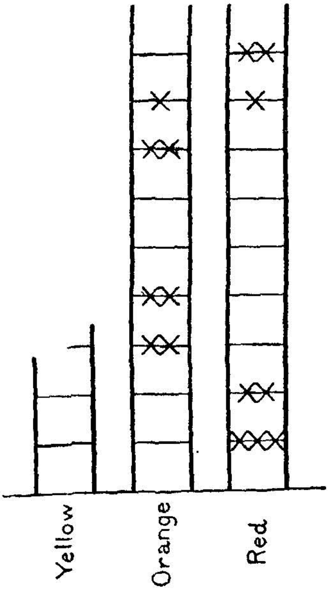
ரஸ்ஸல் படம் (Russell Diagram)

ஒவ்வொரு நிறத்திற்கும், (மேற்சொன்னபடி) ஏணிப் படத்தை வரைந்து அவைகளைச் சரியான வரிசையில் ஒன்றின் பக்கம் ஒன்றாக

[1] நடைமுறையில் எளிமைக்காக, உயரம், வெளிச்ச அளவுக்கு ஏற்ப எடுக்கா மல், அதன் 'லாகிரித'த்திற்கு ஏற்ப எடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்தமாதிரியான முறையில், சிவப்பு விண்மீன்களில் 1,000,000-லிருந்து 1 வரை வீச்சினுள் உள்ள கண்டறிந்த வெளிச்ச ஒளி அளவுகளைப் படத்தில் குறிக்கமுடியாது.

அமைப்போம். இவ்வமைப்பு, எல்லா நிறங்களையும் உடையதாக இருக்க வேண்டும். அப்பொழுது 18ஆம் படத்தில் (பக்கம் 212) கொடுத்துள்ள படி ஒரு விளக்கப்படம் கிடைக்கும். இந்த விளக்கப்படத்தை ரஸ்ஸல் விளக்கப்படம் (Russell diagram) என்று சொல்லுவார்கள். இதை 1913ஆம் ஆண்டு ரஸ்ஸல் என்பவர் புதிதாக (முதன் முதலில்) வரைந்தார்.

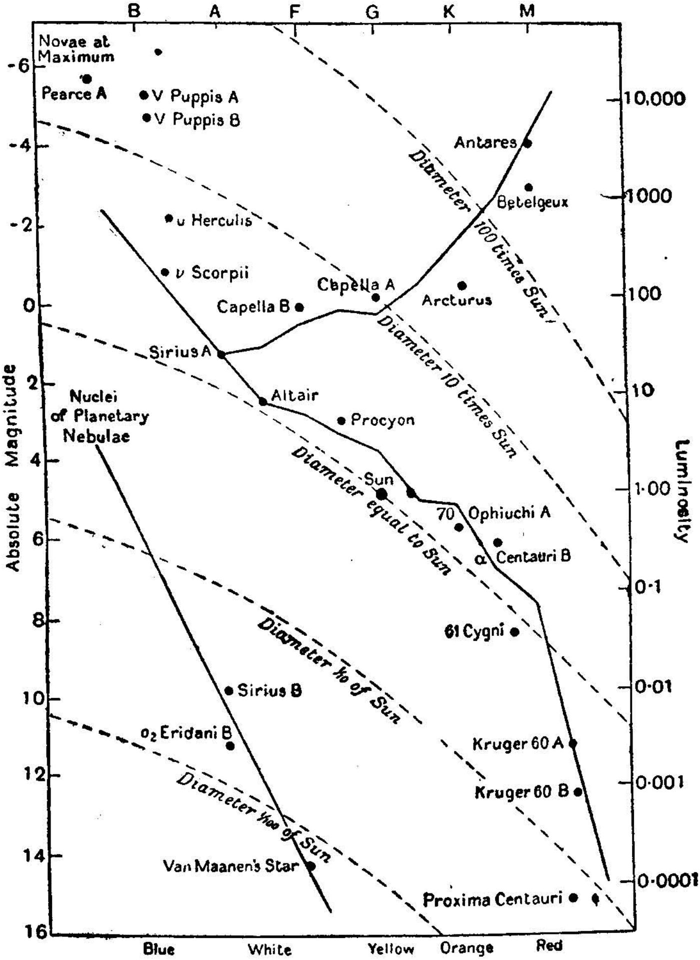
படத்தின்மேல் கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் எழுத்துகள் அந்த விண்மீன்களின் நிறமாலை வகைகளைக் குறிக்கின்றன. இவை (நிறமாலை வகைகள்) நிறங்களைவிடச் செய்முறைக்கு ஏற்றனவாக இருக்கின்றன. அந்த நிறமாலை வகைகளுக்கு ஏற்ற (ஏறக்குறைய) நிறங்கள் கீழே கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. விண்மீன்களின் வெளிச்ச அளவுகள் (ஞாயிற்றினுடன் ஒப்பிட்ட வகையில்) விளக்கப்பட்ட படத்தின் வலக் கோடியில் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இடக் கோடியில் உள்ள



படம் 17. வெளிச்ச அளவின்படி காண்பிக்கப்பட்ட விண்மீன்கள்.

எண்கள் ஒத்த தனி அளவுகளைக் (absolute magnitudes) காண்பிக்கின்றன. இதுதான் வானிலை அறிஞரின் வெளிச்ச அளவுகளை அளக்கும் முறையாகும். காட்டப்பட்ட அளவு முறையில் 2½ அளவுகள், 10 : 1 என்ற வெளிச்ச அளவு விகிதத்தைக் குறிக்கின்றன.

ஒரு சில விண்மீன்களையே இங்கு எடுத்துக்கொண்டிருக்கின்றோம். ஆனால், நமக்குத் தெரிந்த மற்ற விண்மீன்களெல்லாம், மாதிரியாக அமைந்த இவைகளைச் சுற்றியே திரட்டாக அமைந்திருக்கின்றன. விரிவாகச் சொன்னால் வானில், தொடர்பற்ற இரண்டு பகுதிகளிலேயே



படம் 18. ரஸ்ஸல் படம்

எல்லா விண்மீன்களும் அமைந்திருக்கின்றன. முக்கியமானதாகவும், முதன்மையானதாகவும் உள்ள பகுதி γ என்னும் எழுத்தைத் திருப்பி வைத்தால் கிடைக்கும் வடிவ உருவத்தில் (λ) உள்ளது. இந்தப்

பகுதியின் மையம் ஒரு தொடர்ச்சியாக வரையப்பட்டிருக்கும் தடித்த கோட்டினுல் காட்டப்பட்டிருக்கின்றது. ரெட்மன் (Redman) என்பவரின் ஆராய்ச்சியால் தீர்மானிக்கப்பட்டதைக் கொண்டே இந்தக் கோடு வரையப்பட்டிருக்கிறது. இரண்டாவதாகப் படத்தின் இடப் பக்கக் கீழ்மூலையில் இதைவிட ஒரு சிறிய பகுதி உள்ளது. இந்தப் பகுதியில் உள்ள விண்மீன்கள் மிக மங்கலானவை. இவைகளைப் போல் வெளிச்ச அளவுடைய விண்மீன்களைக்காட்டிலும் இவைகளின் மேற்புற வெப்பநிலைகள் மிகவும் அதிகம். ஒரு விண்மீனின் விட்டத்தை, அதன் மேற்புற வெப்பநிலை, வெளிச்ச அளவு இவைகளைக்கொண்டு கணக்கிட்டறியலாம் என்பதைப் பார்த்தோம். இதனுல், ரஸ்ஸலின் விளக்கப்படத்தில் ஒரே இடத்தில் உள்ள இரண்டு விண்மீன்களின் விட்டங்களும் ஒரே அளவுள்ளதாக இருக்கும் என்று சொல்லலாம். படத்தில் ஒவ்வொரு புள்ளியும் ஒரு விட்டத்தின் அளவைக் குறிக்கின்றது. ஆகையினுல், விண்மீன்களின் விட்டங்களை வைத்து ஒரு படம் (map) வரையலாம். இது புவியியலில், கடல்மட்டத்திற்கு மேலுள்ள பல இடங்களின் உயரத்தைக் காண்பிக்க சமநிலைக் கோடுகள் (contour lines) வரைவது போலாகும். நம்முடைய படத்தில், இந்தச் சமநிலைக் கோடுகள் கிட்டத்தட்ட இணை (parallel) கோடுகளாக அமைந்துள்ளன. இவைகளை 18ஆம் படத்தில் இடைவிட்ட கோடுகளால் (broken lines) காண்பிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஒரே விட்டத்தை உடைய விண்மீன்கள் இவை இரண்டினுள் ஏதாவது ஒரு கோட்டில் அமையும்.

இந்தப் படம் விண்மீன்களின் விட்டங்களைப்பற்றிய பொதுப் படைக் கேள்விகளைப் பொறுத்தவரையில் ஒரு பிறங்கொளி விளக்காக (flood-light) அமையும். இதிலிருந்து மிகப் பெரிய விட்டத்தைப் போல் 100 மடங்கு விட்டத்தை உடைய விண்மீன்கள் அவசியமாகச் சிவப்புநிற விண்மீன்களாகவே இருக்கவேண்டும் என்றும், மிக்க வெளிச்ச அளவு உடையனவாக இருக்கவேண்டும் என்றும் உடனடியாக நாம் அறியலாம். உண்மையில் பக்கம் 207-ல் உள்ள அட்டவணையில் காட்டப்பட்ட பெரிய விட்டங்களுடைய விண்மீன்கள் எல்லாம் சிவப்பு நிறமுடையனவாயும் மிக அதிக வெளிச்ச அளவு உள்ளனவாயும் இருக்கின்றன. இவை சிவப்புப் பெரு விண்மீன்கள், படத்தில் இடது மேற்புறத்திலிருந்து, வலது கீழ்ப்புறத்திற்குச் செல்லும் இடைப் பகுதியில் (belt) உள்ளன. இது ‘முக்கியத் தொடர்’ (main sequence) என்று சொல்லப்படும். இந்த முக்கியத் தொடர்க்குழுவின் (band) அமைப்பைச் சமநிலைக் கோடுகளுடன் ஒப்பிட்டுப் பார்த்தால் இந்தக் குழுவைச் சேர்ந்த விண்மீன்களின் விட்டங்களின் நீளங்கள் சாதாரண அளவுடையனவாக இருக்கும் என்று காண்பிக்கின்றது. இவைகளில் மிக வெளிச்சமுள்ள விண்மீன் ஞாயிற்றைப்போல் இருபது மடங்கு விட்டத்தை உடையதாய்

இருக்கலாம். மிக மங்கலாக உள்ள விண்மீன் ஞாயிற்றின் விட்டத்தில் இருபதில் ஒரு பங்கு விட்டத்தை உடையதாக இருக்கலாம். ஆனால், இவைகளின் விட்டங்கள் ஞாயிற்றின் விட்டத்துடன் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கும் அளவிலாவது உள்ளன. நாம் எடுத்துக்கொண்டுள்ள ஞாயிற்றின் அருகில் உள்ள விண்மீன்களின் மாதிரி, முக்கியத் தொடர் விண்மீன்களுக்கு அநேக உதாரணங்களாக அமைகின்றன. குறைந்து கொண்டேபோகும் வெளிச்ச அளவுகளுள்ள விண்மீன்களாவன :

விண்மீன்	வெளிச்ச அளவு	விட்டம் (ஞாயிற்றுடன் ஒப்பிட்ட வகையில்)
ஸிரியஸ் A	24	1·50
புரோஸியான் A ...	6·6	1·80
α ஸென்டாரி A ...	1·14	1·07
ஞாயிறு	1·00	1·00
α ஸென்டாரி B	0·32	1·22
τ ஸெடி	0·32	0·95
ϵ இண்டி	0·14	0·82
குரூகர் 60 A	0·0015	0·20
குரூகர் 60 B	0·0004	0·12
உல்ஃப் 359	0·00002	0·03

இந்த அட்டவணையிலிருந்து முக்கியத் தொடரில் உள்ள விண்மீன் களின் வெளிச்ச அளவுகளும், விட்டங்களும் எவ்வாறு ஒருங்கே குறைந்துகொண்டே வருகின்றன என்பதைக் காணலாம். மீதியுள்ள விண்மீன்கள், 18ஆம் படத்தில் இடப் பக்கம் கீழ்மூலையில் உள்ளவை 'வெள்ளைக் குறுமீன்கள்' (white dwarfs) என்று அழைக்கப்படும். படத்தில் அவைகள் உள்ள இடத்திலிருந்து, அவைகளின் விட்டம் மிகச் சிறியதாக இருக்கவேண்டும் என்று தெரிகிறது.

படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கும் மூன்று விண்மீன்களுடன், o-ஸெடியின் மூன்றும் கூட்டாளியாக இருக்கும் மங்கலான விண்மீனும் ஒரு வெள்ளைக் குறு விண்மீனாகும். இவைகளைத் தவிர வெகு சில விண் மீன்களே, வெள்ளைக் குறு விண்மீன்களாக இருக்கலாம் என்று நம்பப் படுகிறது. ஆனால், இவைகள் மிக மங்கலானதால், இவைகளைக் கண்டு பிடிப்பது அரிதாக உள்ளது. இவைகள் வானத்தில் அடிக்கடி தோன்றும் பொருள்களாக இருக்கலாம்.

கோள் நெபுலாக்களின் அணுக்கருக்களையும் தெளிவாக வெள்ளைக் குறு விண்மீன்களினத்தில் சேர்க்கலாம். இக் கருக்களின் மேற்புற வெப்பநிலை மிக உயர்ந்ததாக இருக்கின்றன என்பதை ஏற்கெனவே குறிப்பிட்டோம். இதே வெப்பநிலைகளையுடைய விண்மீன்கள் 'முக்கியத் தொடரில்' இருந்தால் இவைகளின் வெளிச்ச அளவு

ஞாயிற்றைக்காட்டிலும் அநேக ஆயிரமடங்குகளாக இருக்கவேண்டும் என்று எதிர்பார்க்கலாம். ஒரு தோராய கணக்கு இதன் அளவைப் பல மிலியன் மடங்குகளாக இருக்கலாம் என்று காட்டுகிறது. இதன் காரணமாய் இவைகள் மங்கலாகக் காணப்படுவதால், இவைகளின் தூரம் மிக அதிகமாக இருக்கலாம் என்பதைக் காட்டும்.

வான் மானன் என்பவர், வானத்தில் நகர்ந்து செல்லும் கோள் நெபுலாக்களைக் கண்டறிந்து, இவைகளின் வேகம், ஒப்பனை அளவில் இவைகள் குறைந்த வெளிச்ச அளவு உள்ள விண்மீன்களாக இருக்க வேண்டும் என்றும், நெருங்கிய தூரத்தில்தான் இருக்கவேண்டும் என்றும் முடிவு கூறியுள்ளார். சராசரி 4500 ஒளி ஆண்டுகள் தூரத்தில் உள்ள 21 நெபுலாக்களை எடுத்துக்கொண்டு, அவைகள் ஞாயிற்றைவிட மிகப் பெரிய வெளிச்ச அளவு உடையவைகளாக இருக்கவேண்டும் என்று முடிவாகக் கருதுகிறார். பார்வைமூலம் வெளிச்ச அளவைக் கண்டுபிடித்தால் இது ஞாயிற்றைக்காட்டிலும் 10 மடங்கு உள்ளது. ஆனால், இதையே ஒளிப்படங்களின்மூலம் கணக்கிட்டால், இந்தச் சராசரி 15 மடங்காக (ஞாயிற்றைவிட) இருக்கிறது. நெபுலாக்களின் ஒளி ஞாயிற்றின் ஒளியைவிட நீலமாக இருக்கின்றன. ஆகையினால், ஒளிப்படத் தகடுகளில் (photographic plates) இவைகள் நன்றாகப் பதிக்கப்பெறுகின்றன. இதனால்தான் இரண்டு கணக்குகளுக்கும் மாறுபாடு இருக்கிறது.

சராசரி வெளிச்ச அளவுடன், நம்மால் அறியப்பட்ட மேற்புற வெப்பநிலையைச் சேர்த்துக் கணக்கிட்டுப் பார்த்தால் கோள் நெபுலா வின் ஒரு சாதாரண அணுக்கருவின் விட்டம், ஞாயிற்றினுடையதில் 5-ல் ஒரு பங்காகும் என்று எளிதில் அறியலாம். குறைந்த வெளிச்ச அளவு களையும், சிறிய விட்டங்களையும் உடைய இந்த அணுக்கருக்களுக்கு வெள்ளைக் குறு விண்மீன்கள் என்ற பெயர் பொருத்தமாகும்.

கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள அட்டவணை இந்த வகையைச் சேர்ந்த விண்மீன்களின் வெளிச்ச அளவுகளையும், விட்டங்களையும் காண்பிக் கின்றது.

விண்மீன்	வெளிச்ச அளவு	விட்டம் (ஞாயிற்றுடன் ஒப்பிட்ட வகையில்)
கோள் நெபுலாக்களின் அணுக்கள்	10	0·2
ஸிரியஸ் B	0·0024	0·03
o_2 எரிடானி B (o_2 Eridani B)	0·003	0·02
வான் மானன் விண்மீன் ...	0·00016	0·009

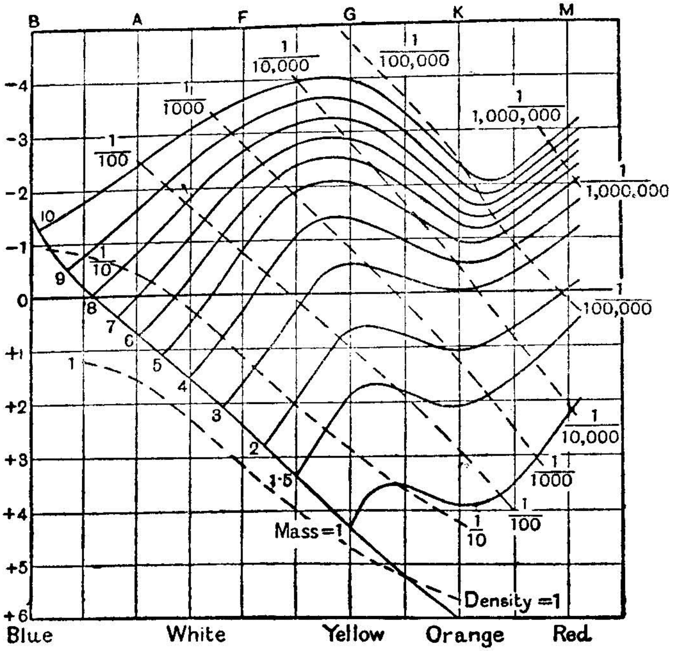
பக்கம் 214-ல் உள்ள அட்டவணையில் முக்கியத் தொடர் விண்மீன் களை வெளிச்ச அளவு வரிசையில் குறிப்பிட்டோம். இது பொருண்மை

வரிசைக்கும் பொருந்தும். மூன்று விண்மீன்களைத் தவிர, மற்ற விண் மீன்களின் பொருண்மைகள் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

விண்மீன்			வெளிச்ச அளவு	பொருண்மை (ஞாயிற்றுடன் ஒப்பிட்ட வகையில்)
ஸிரியஸ் A	...	...	24	2·35
புரோஸியான் A	...	...	6·5	1·48
∝ ஸெண்டாரி A	...	...	1·14	1·10
ஞாயிறு	...	...	1·00	1·00
∝ ஸெண்டாரி B	...	...	0·32	0·89
குருகர் 60 A	...	...	0·0015	0·27
குருகர் 60 B	...	...	0·0004	0·14

வெளிச்ச அளவுகளைப்போலவே, பொருண்மைகளும் குறைந்து கொண்டே போகின்றன. ஆனால், வெளிச்ச அளவுகளைப்போல் அவ் வளவு வெகுவாகக் குறைவதில்லை. அநேகமாக, இரட்டை விண்மீன் களின் பொருண்மைகளை நேர்முகமாகக் கணக்கிட்டறியலாம். ஆனால், இவைகள் மிகக் குறைவு. இரட்டை விண்மீன்களின் பொருண்மை, மூன்றும் அதிகாரத்தில் கொடுக்கப்பட்ட ஆற்றலின் சமப்பங்கு (equipartition of energy) என்ற விதியை ஒட்டி இருக்கிறது என்று ஸீயர்ஸ் (Seares) கண்டுபிடித்தார். இதனால் மற்ற (இரட்டைக ளல்லாத) விண்மீன்களின் பொருண்மையும் இந்த விதியை ஒட்டி இருக்கும் என்று நம்பலாம். ஏனென்றால், இரட்டை விண்மீன்கள் சமப் பங்கு நிலையை அடையும்பொழுது மற்ற விண்மீன்களும் ஏன் இந்த நிலையை அடையக்கூடாது என்று நினைக்கும்படி இருக்கின்றது. இந்த நிலையை விண்மீன்களின் பொருண்மைகளை, அவைகளின் இயக்க வேகத்தினுடன் சேர்க்கும் வகையில் உள்ள ஒரு புள்ளியில் விதியினால் வரையறுத்துச் சொல்கிறோம். ஆகையினால், ஒரு விண்மீன் தொகுப்பு இந்த நிலையை அடைந்ததனால், ஒரு குறித்த வேகத்தை உடைய ஒரு தனி விண்மீனின் எடையைப்பற்றி ஒன்றும் தெரிவிப்பதில்லை. ஆனால், ஒரு விண்மீன் தொகுப்பின் சராசரி எடையை அதன் சராசரி வேகத்தின் அளவில் கொடுக்கிறது. 1912-ல் ஸீயர்ஸ் என்பவர், இந்த முறையில் கொடுக்கப்பட்ட வெவ்வேறு வெளிச்ச அளவுகளையும், நிறமாலைவகை களையும் உடைய விண்மீன்களின் சராசரி பொருண்மைகளைக் கண்டு பிடித்தார்—அதாவது 18ஆம் படத்தில் வெவ்வேறு புள்ளிகளால் குறிக்கப்பட்ட விண்மீன்களின் சராசரி பொருண்மைகளைக் கண்டு பிடித்தார். அவருக்குக் கிடைத்த முடிவுகளைத் தொடர்ச்சியாக அமைந் திருக்கும் வளைகோடுகள் காண்பிக்கின்றன. இந்த வளைகோடுகளின் அமைப்பு, நாம் சில விண்மீன்களைப்பற்றிச் சொல்லிய உண்மைகளை உறுதிப்படுத்துகின்றன. அதிக வெளிச்ச அளவுள்ள விண்மீன்களி லிருந்து குறைந்த வெளிச்ச அளவு விண்மீன்களுக்குச் செல்லும்

பொழுது, அவைகளின் பொருண்மைகள் படிப்படியாகக் குறைந்து கொண்டே போகின்றன.



படம் 19. சீயர்ஸ் என்பவரின் கூற்றுப்படி ரஸ்ஸல் படத்திலுள்ள விண்மீன்களின் பொருண்மையும் அடர்த்தியும்

19ஆம் படத்தில் உள்ள வளைகோடுகள், ரஸ்ஸல் படத்திலுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளிகளும் காண்பிக்கும் விண்மீன்களின் பொருண்மைகளைக் காண்பிக்கின்றன. இவைகளின் (விண்மீன்களின்) விட்டங்கள் 18ஆம் படத்திலிருந்து ஏற்கெனவே நமக்குத் தெரியும். இந்த இரண்டு விவரங்களிலிருந்தும் விண்மீன்களின் சராசரி அடர்த்திகளைக் கணக்கிடலாம். ஸீயர்ஸ் என்பவரால் கணக்கிடப்பட்ட சராசரி அடர்த்திகளை 19ஆம் படத்திலுள்ள இடைவிட்ட கோடுகள் (broken lines) காண்பிக்கின்றன.

விண்மீன்களின் அமைப்பு

இதுவரையில் வெளிப்புறக் காட்சிமூலம் தெரிந்துகொள்ளக்கூடிய உண்மைகளை அறிந்தோம். இனி இவைகளின் உட்புறக் கணக்குக்

கோட்பாட்டைக் (mathematical theory) கவனிப்போம். ஒரு விண் மீன் மேற்புறத்திலிருந்து, எப்படி அதிக அளவில் கதிர் ஆற்றல் (radiant energy) வெளிப்படுகிறது என்பதைப்பற்றி அறிந்தோம். விண்மீனினுள், ஒவ்வோர் ஆற்றல் ஆற்றின் (river of energy) வழியே இவைகளின் உற்பத்தி இடத்திற்குச் செல்வதாக வைத்துக்கொள்வோம். இந்த உற்பத்தி இடங்கள் அந்த விண்மீனின் மையத்திலோ, சற்று அதன் பக்கத்திலோ இருப்பதை நாம் காண்போம். அல்லது, விண் மீனின் உட்புறம் முழுவதிலேயே இவைகள் பரவி இருக்கலாம். இந்த இரண்டில் எவ்வாறு இருந்தாலும், ஆற்றல், அதிக வெப்பநிலை உள்ள இடத்திலிருந்து குறைந்த வெப்பநிலை உள்ள இடத்திற்குச் செல்லும் என்ற நியதி இருக்கும். ஆகையினால், எந்த ஆற்றல் ஆற்றிலாவது வெள்ளத்தை எதிர்த்துச் செல்லும்பொழுது வெப்பநிலை மேலும் மேலும் அதிகமாக இருக்கும். ஆகையினால், விண்மீனின் மேற்புறத்தில் வெப்ப நிலை அதிகமாக இருந்தால் உள்ளே போகப்போக வெப்பநிலை அளவு வெகுவிரைவில் ஏறிக்கொண்டேபோகும். உதாரணமாக, ஞாயிற்றின் மேற்புறத்திலிருந்து அதிக அளவு ஆற்றல் வெளிப்படுவது, அதன் உட் புறத்திற்குப் போகப்போக வெப்பநிலை மிகச் சீக்கிரம் அதிகமாகிவிடும் என்பதைக் காண்பிக்கின்றது. இந்த உயர்வு, மேற்புறத்திலிருந்து மையத்திற்கு உள்ள 433,000 மைல்கள் தூரத்திற்கு அதனுள் செல்லும் பொழுது ஏற்படும். அதாவது அதன் மையத்தில் வெப்பநிலை மிக அதிகமாக இருக்கும். ஒரு விண்மீனின் உட்புறத்தைப்பற்றிக் குறிப் பாக அதன் வெப்பநிலையைப்பற்றி அறிய பாயிங்கரே தேற்றம் (Poincaré's theorem) என்று அழைக்கப்படும் வெகு எளிய தேற்றம் ஒன்று உள்ளது. இந்தத் தேற்றத்திற்கு, விண்மீன் முற்றிலும் வாயுவினாலானது என்ற அடிப்படை முக்கியமானதாகும். இதைத் தற்காலிகமாக வைத்துக்கொள்வோம். ஏனென்றால், மிகக் கடினமான இந்தப் பிரச்சினைக்கு (உட்புறத்தைப்பற்றிய) இந்தத் தற்காலிக அடிப் படை மிகவும் பயனுடையதாக இருக்கும்.

ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் (Helmholtz) என்பவர் எவ்வாறு ஞாயிற் றின் கதிர்வீச்சு ஆற்றல் ஞாயிற்றின் சுருக்கத்தினால் ஏற்படுகிறது என்று நினைத்தார் என்பதைப் பார்த்தோம். அதாவது, ஒவ்வோர் அடுக்கும் சுருங்கும்பொழுது, அதன் ஆற்றலை வெப்பமாகவும் ஒளியாக வும் மாற்றுகிறது. இம்மாதிரியான சுருக்கத்தினால் எவ்வளவு ஆற்றல் வெளிப்படும் என்பதை எளிதில் அறியலாம். உதாரணமாக, ஞாயிறு வரையற்ற ஓர் அளவிலிருந்து (infinite size) இப்பொழுது அஃது இருக் கும் அளவாகிய 865,000 மைல்கள் விட்ட அளவிற்குச் சுருங்கும் பொழுது, 50 மிலியன் வருடங்களில், ஞாயிறு, இப்பொழுது வெளிப் படுத்தும் ஆற்றல் அளவிற்கான ஆற்றலை வெளிப்படுத்தும் என்று லார்ட் கெல்வின் (Lord Kelvin) என்பவர் கணக்கிட்டிருக்கிறார்.

எர்க் (ergs) அலகில், 6×10^{48} அளவுள்ள ஆற்றல், ஞாயிறு மேற் சொன்னவாறு சுருங்கும்பொழுது வெளிப்படும்.

பாயிங்கரேயின் தேற்றம் கூற்றுப்படி கூட்டணுக்களின் இயக்கத் தினுல் ஏற்படும் மொத்த ஆற்றல், அல்லது வாயுவினுலான விண்மீனின் மற்ற வகை சார்பற்ற-இயக்கத்தை உடைய பொருள்களின் ஆற்றல், அந்த விண்மீன், வரையற்ற ஓர் அளவிலிருந்து (அதனுல் வரையற்ற மென்மை உடைய அந்த நிலையிலிருந்து) இப்பொழுது அஃது இருக்கும் அளவிற்குச் சுருங்கும்பொழுது வெளிப்படும் மொத்த ஆற்றலில் பாதி யாகும் என்பதே. இந்தத் தேற்றம், விண்மீன் சுருங்காவிட்டாலும் உண்மையாக இருக்கும். ஏனென்ருல், இப்பொழுது அந்த விண்மீன் இருக்கும் நிலையைத்தவிர வேறு எந்த அடிப்படையும் இதில் இல்லை.

இந்தத் தேற்றத்தின் ஒரு முக்கிய உண்மையாவது வாயுவினுலான ஒரு விண்மீன் சுருங்கச் சுருங்க அதன் வெப்பம் அதிகரித்துக்கொண்டே போகும். ஆகையினுல் ஒரு விண்மீன், இப்பொழுதிருக்கும் அதன் அளவில் பாதியாகச் சுருங்கினுல் வெளிப்படும் அதன் ஆற்றல் வரை யற்ற அளவிலிருந்து (இப்பொழுதிருக்கும் அளவிற்கு) அது சுருங்கும் பொழுது வெளிப்படும் ஆற்றலைப்போல் இரண்டு மடங்காகும். ஆகை யினுல் கூட்டணுக்களின் இயக்க ஆற்றல், அல்லது சார்பற்ற மற்றப் பொருள்களின் இயக்க ஆற்றல் இரட்டிப்பாகும். அலகுகள் ஒன்ருயிருக் கும்வரை இது லேன் விதி (Lane's law) என்று அழைக்கப்படும் ஒரு விதியின் ஒரு தனி அம்சமாகும்.

இப்பொழுது ஞாயிற்றை ஓர் உதாரணமாக எடுத்துக்கொள்வோம். ஞாயிறு முற்றிலும் வாயுவினுலான ஒரு விண்மீனுனல், இதன் அணுக் கூறுகள் எல்லாவற்றின் மொத்த இயக்க ஆற்றல், அல்லது (இதிலுள்ள) இதர பொருள்களின் மொத்த இயக்க ஆற்றல் 3×10^{48} எர்குகள் ஆகும் என்று பாயிங்கரே தேற்றம் காண்பிக்கிறது. ஞாயிற்றின் பொருண்மை 2×10^{33} கிராம்கள் ஆகும். ஆனுல், ஒரு கிராமில் எத்தனை பொருள்கள் உள்ளன? இதன் விடை அந்தப் பொருள்களைப்பொறுத்திருக்கின்றது. உதாரணமாக, ஒரு கிராமில் 3×10^{23} ஹைட்ரஜன் கூட்டணுக்கள் உள்ளன. 2×10^{22} காற்றுக் கூட்டணுக்கள் உள்ளன. ஆனுல், $2{\cdot}5 \times 10^{21}$ யுரேனியம் கூட்டணுக்கள்தான் இருக்கின்றன.

வெப்பநிலை

ஞாயிறு காற்றுக் கூட்டணுக்களினுல் ஆனது என்று நினைத் தால் இதில் 4×10^{55} காற்றுக் கூட்டணுக்கள் இருக்கும். இவைகளின் மொத்த இயக்க ஆற்றல் 3×10^{48} எர்குகள். ஆகையினுல், இவைகளின்

சராசரி இயக்க ஆற்றல், $7{\cdot}5\times10^{-8}$ எர்க் ஆகும். இந்த ஆற்றல் 375 மிலியன் டிகிரி வெப்பநிலையில்தான் வெளிப்படும். ஆகையினால் இது ஞாயிற்றின் உட்புற சராசரி வெப்பநிலையாக இருக்கவேண்டும்.

1907-ல் எம்டன் (Emden) என்பவர் ஞாயிற்றின் மத்தியில் வெப்ப நிலை 455 மிலியன் டிகிரிகள் என்று இன்னொருவிதத்தில் கணக்கிட்டுப் பார்த்திருக்கிறார். விவரங்களைத் தவிர்த்து, ஞாயிற்றின் உட்புறம், காற்றுக் கூட்டணுக்களினால் ஆனதானால், இதன் வெப்பநிலை நூற்றுக் கணக்கான மிலியன் டிகிரிகளாகும் என்று தெளிவாகிறது.

இருந்தாலும், ஞாயிறு முற்றிலும் காற்றின் கூட்டணுக்களினால் ஆனதன்று என்பதை இந்த முடிவு தெளிவாகக் காட்டுகிறது. இப்பொழுது நாம் கண்ட வெப்பநிலையளவில் ஏற்படும் கதிர்வீச்சு காற்றுக் கூட்டணுக்களை அணுக்களாகப் பிரித்துவிடுவதன்றி, இந்த அணுக் களின் மின் அணுக்களையும் இவைகளினின்று பிரித்துவிடும் என்பதைப் பக்கம் 160-ல் விவரித்த முறையில் கணக்கிட்டு அறியலாம். இந்த வெப்ப நிலைகளில் ஒவ்வொரு காற்றுக் கூட்டணுவும் அதன் அணுக்களாகவும் மின் அணுக்களாகவும் பிரிந்துவிடும். இஃது ஒரு வெப்ப நாளில் (hot day) ஓர் ஐஸ்கட்டி அதன் கூட்டணுக்களாக உருகிவிடுவதுபோல் ஆகும். சாதாரண சூழ்நிலையில் முதலில் மின் அணுக்களையும், அணுக் கருக்களையும் அணுக்களாக ஒன்று சேர்த்து, பிறகு இந்த அணுக்களை கூட்டணுக்களாக்கும் மின் விசைகள் (electric forces), வெகு விரைவாக இயங்கும் எறிபொருள்களின் (projectiles) எதிரிலும், மிக்க வலிவுடன் வெளிப்படும் உயர்ந்த ஆற்றல் குவான்டம்களின் (quanta of high enegry) எதிரிலும் ஒன்றும் செய்ய முடியாதவைகளாகின்றன. இஃது ஒரு பெரிய புயல்காற்றில் அட்டைவீடு கட்டுவதுபோலாகும். காற்றுக் கூட்டணுக்களையே உடைய ஞாயிறு ஒரு முரண்பாடான அமைப்பாகும். ஆகையினால், நம் எடுகோள் பயனற்றதாய்விட்டது. மறுபடியும் முதலிலிருந்து ஆரம்பிப்போமாக.

அயனியாக்கல் (Ionisation)

விண்மீன்களின் நிறமாலைவகைகள் பெரும்பாலும் அவைகளின் வெப்பநிலைகளைப் பொறுத்திருக்கின்றன என்று பார்த்தோம். அமுக்கம், அடர்த்தி, இயைபு, அமைப்பு இவைகளின் மாறுபாடு களும் நிறமாலைகளில் மாறுபாடுகளை ஏற்படுத்த வேண்டும். ஆனால், வெப்பநிலையினால் ஏற்படும் மாறுபாடுகளைவிட இவை சிறிய அளவில்தான் இருக்கின்றன. ஒரு விண்மீனின் மேற் புறத்திலிருந்து அகன்று செல்லும்பொழுது, வெவ்வேறு வெப்பநிலை களுடைய அடுக்குகளைக் கடந்து செல்வோம். இந்த அடுக்குகளின்

பொருள்களைக்கொண்ட ஒரு மாதிரியைச் சோதித்துப் பார்த்தால், இவைகள் வெவ்வேறு நிறமாலைகளுடையனவாக இருக்கின்றன. இவைகள் (இந்த நிறமாலைகள்) வெவ்வேறு நிறமாலைவகைகளுடன் பொருந்தி அமையும்.

ஆகையினால், நிறமாலைவகைகளின் ஒவ்வொரு வகையும், ஒரே விண்மீனின் பல அடுக்குகளின் நிறமாலைகளை ஒரு படமாக எடுத்துக் காட்டும். ஞாயிற்றின் மேற்புறம் 6000 டிகிரிகள் வெப்பநிலையில் இருக்கும்பொழுது G வகை நிறமாலையைக் காட்டும். இதைவிட 7500 டிகிரிகளில் உள்ள கீழடுக்கில் உள்ள பாகங்கள் F வகை நிறமாலையுடையவை. இதற்கும் கீழ் அடுக்குகளில் உள்ளவை முறையே A, B, O வகைகளைச் சேர்ந்தவை. நாம் இந்த நிறமாலைகளைக் (குளிர்ந்த அடுக்கிலிருந்து மிகவெப்பமான அடுக்கு வரையில்) கவனிக்கும்பொழுது, போகப்போக அதிக அளவில் ஏற்படும் அணுச் சிதைவுகளைக் காண்போம். மிகக்குறைவான வெப்பநிலைக்குரிய M-வகை நிறமாலையுடைய அடுக்குகளில் முழுக் கூட்டணுக்களைப்பற்றித் தெரியும். உதாரணமாக டிடானியம் ஆக்ஸைட், மக்னீஸியம் ஹைட்ரைட் ஆகியவற்றைச் சொல்லலாம். உயர்ந்த வெப்பநிலைகளில் முழுக் கூட்டணுக்கள் மறைந்து, அணுக்களே காணப்படும். இவைகளுக்கு அடுத்து வருவது ஒரு மின் அணு நீங்கிய ஒருமுறை அயனியான அணுக்களும் (singly ionised atoms), இரண்டு மின் அணுக்கள் நீங்கிய, இருமுறை அயனியான (doubly ionised atoms) அணுக்களுமாகும். சாதாரண விண்மீன்களுள் மிகவெப்பமானவைகளில் சிலிகான், ஆக்சிஜன் இவைகளின் அணுக்கள் இருமுறை அயனியானவைகளாகும். இவைகளைவிட இன்னும் அதிக வெப்பநிலையை உடைய கோள் நெபுலாக்களில் நியான் அணு, இருமுறை அயனியானதாகும். பொருளின் நிறமாலை, இதைவிட அதிக வெப்பநிலைகளில் அதிக அயனியானவைகளாக இருக்கும் என்பதில் ஐயமில்லை.

இதிலிருந்து, ஞாயிற்றிலானாலும் அல்லது எந்த விண்மீனிலானாலும் உட்புறம் செல்லச்செல்ல அயனியாகும் அளவு அதிகமாக இருக்கும் என்று தோன்றுகிறது. தோராயமாகக் கணக்கிட்டுப் பார்த்தால், விண்மீன்களின் நடுவில் உள்ள வெப்பநிலை, கூட்டணுக்கள், அணுக்கள் இவை எல்லாவற்றையும், முற்றிலும், அல்லது கிட்டத்தட்ட, அவைகளின் அணுக்கருக்களாகவும், மின் அணுக்களாகவும் பிரித்துவிடுகின்றன என்பதைக் காண்பிக்கின்றது. இது மற்ற விண்மீன்களுக்கும் பொருந்தும். ஆகையினால் விண்மீன்களின் உட்புற அமைப்பு ஓர் எளிதான பிரச்சினையாகிவிடுகிறது. ஒரு கிராமுக்கு எத்தனை முழுக்கூட்டணுக்கள் உள்ளன என்று சொல்ல முடியாது. ஆனால் இந்தக் கூட்டணுக்களை, அணுக் கருக்களாகவும் மின் அணுக்க

ளாகவும் பிரித்துவிட்டால், இவைகளின் மொத்த எண்ணிக்கையைக் கிட்டத்தட்ட சரியாக மதிப்பிட்டுவிடலாம்.

இதற்குப் பொருளின் (விண்மீனின்) அமைப்பு தேவையில்லை. இதை, அணுக்களின் எடைகள் (ஹைட்ரஜனைத் தவிர) அவைகளின் எண்களைப்போல் இரண்டு மடங்காகும் (பக்கம் 125) என்ற உண்மையைக்கொண்டு அறியமுடியும்.

மிக இலேசான ஹைட்ரஜன், ஹீலியம் இவைகளைத் தவிர பிரிக்கப்பட்ட பொருள்களில் மற்ற அணுக்களின் அணுக்கருக்கள், மின் அணுக்களைக்காட்டிலும் எண்ணிக்கையில் குறைந்தனவாக இருக்கும். இவைகளைத் தள்ளிவிடுவோம். அப்பொழுது, ஓர் அணுவில் உள்ள துகள்களின் (particle) எண்ணிக்கை, அந்த அணுவின் அணு எண்ணிற்குச் (atomic number) சமமாகும். ஆகையினால், அந்தப் பொருளின் அணு எடையில் பாதியாகும். இதனால் எல்லாத் துகள்களின் சராசரிப் பொருண்மை (ஏறக்குறைய) 2. இஃது ஹைட்ரஜன் கூட்டணுவின் பொருண்மை அளவாகும். ஆகையினால், ஒரு பொருண்மையில் ஹைட்ரஜன் அணுக் கூட்டுகள்மட்டும் இருந்தால் எத்தனை துகள்கள் இருக்குமோ, அவ்வளவு துகள்களே அதில் (ஹைட்ரஜன் இல்லாதபோதும்) இருக்கும் என்பது தெளிவாகிறது.

உதாரணமாக, ஆக்சிஜனின் அணு எடை 16, அணு எண் 8. ஆகையினால் முழுதும் பிரிக்கப்பட்ட ஆக்சிஜன் அணுவில், 9 சார்பற்று இயங்கும் பகுதிகள் இருக்கும். ஓர் அணுக்கரு, 8 மின் அணுக்கள். ஆதலால், அதன் கணிசமான மின் கூட்டணு எடை $\frac{16}{9}$ (molecular weight), அதாவது கிட்டத்தட்ட 2. இரண்டு மின் அணுக்களின் உட்புற அல்லது *K*-வளையம் அணுக்கருவுடன் சேர்ந்திருக்கவேண்டும் என்று வைப்பது நலமாகும். (இதைப்பற்றிப் பிறகு பார்ப்போம்.) அப்படி வைத்தால் மொத்தப் பகுதிகள் 7 ஆகும். அதனால் அணுக் கூட்டு எடை $\frac{16}{7}$ என்றாகும். இதுவும் கிட்டத்தட்ட 2. மற்றத் தனிமங்களுக்கும் இதே அளவில்தான் (ஏறக்குறைய) இருக்கிறது. ஹைட்ரஜன், ஹீலியம் இவைகள் தள்ளுபடியானவை. ஏனென்றால், முழுவதும் பிரித்த பிறகு இவைகளின் கூட்டணு எடைகள் முறையே $\frac{1}{2}$, $\frac{4}{3}$ ஆகும். இங்கு அணுக் கருக்களின் எண்ணிக்கை, மின் அணுக்களின் எண்ணிக்கையைவிட ஒப்பனை அளவில் சிறிதல்ல. இவைகளைத் தவிர்த்து அதிக அளவில் இருக்கும் இலேசான (எடைவகையில்) அணு கார்பனாகும் (carbon). இதன் அணு எண் 6, அணு எடை 12. ஆகையினால் முழுதும் பிரிக்கப்பட்ட கார்பனின் கூட்டணு எண் 1·71, அல்லது *K*-வளையத்தை அப்படியே வைத்தால், இதன் எண் 2·4 ஆகும். இரண்டும், 2-க்கு நெருக்கமாக உள்ளன. மிகவும் கனமான அணு இரும்பாகும். இதன் அணு எண் 26, அணு எடை 56. இதற்கேற்ற

(கூட்டணு எடை) எண்கள் 2·08, 2·24 ஆகும். ஆகையினால் விண் மீனின் பொருள்களில் முற்றிலும் ஹைட்ரஜனிருந்தால், இது புவியில், ஹைட்ரஜனை உடைய பொருள்கள் மாதிரி இருப்பதில்லை என்ற முரண்பாடான முடிவை அடைகிறோம். அதாவது முழுதாக இருக்கும் ஹைட்ரஜன் கூட்டணுவைப்போல் இருப்பதில்லை என்பதே இதன் பொருள்.

முன் கணக்குக்குச் சென்று பார்த்தால், (பெரும்பான்மையாக) அதிகமாக ஹைட்ரஜன் அல்லது ஹீலியம் இவை இல்லாமலிருக்கும். ஒரு விண்மீனின் 1 கிராம் எடைக்கு 3×10^{23} பகுதிகள் இருக்கும். இஃது அந்தப் பகுதிகள் எந்தக் கூட்டணுவைச் சேர்ந்தவை என்பதைப் பொறுத்திருக்காது. இந்தப் பகுதிகளின் மொத்த எண்ணிக்கை தெரிந்தால், பாயிங்கரே தேற்றத்திலிருந்தாவது, மற்ற முறையிலாவது, இந்தப் பகுதிகளைக்கொண்ட விண்மீனின் உட்புற வெப்பநிலையைக் கணக்கிட்டறிவது எளிதாகும். விண்மீனின் வெப்பநிலை, அந்த விண்மீன் முழுவதும் பிரிக்கப்படாத ஹைட்ரஜன் கூட்டணுக்களுடைய தாக இருந்தால் எவ்வளவு இருக்குமோ அதே அளவில்தான் (ஹைட்ரஜன் இல்லாதபோதும்) இருக்கும். இவ்வாறு உள்ள ஒரு ஞாயிற்றின் மைய வெப்பநிலை 31,500,000 டிகிரிகளாக இருக்கும் என்பதை 1907ஆம் ஆண்டில் எம்டன் என்பவர் கண்டுபிடித்தார். எடிங்கடனும் (Eddington), இன்னும் மற்றவர்களாலும், நய நுணுக்கமான (refined) கணக்கு முறையில் நிர்ணயிக்கப்பட்ட வெப்ப நிலையும் கிட்டத்தட்ட இதே அளவில்தான் இருக்கின்றது.

மற்றபடி, ஞாயிறு, விண்மீன்கள் இவைகளின் வளிமண்டலங்கள் பெரும்பாலும் ஹைட்ரஜனை உடையவைகளாக இருக்கின்றன என்பதைப் பார்த்தோம். ஆகையினால், இவைகளின் உட்புறங்களும் ஹைட்ரஜனையுடையவைகளாக இருக்கலாம். ஞாயிறு முற்றிலும் (அல்லது கிட்டத்தட்ட முற்றிலும்) ஹைட்ரஜனை உடையதாய் இருக்கும். ஒரு நிலையில் முன் கொடுக்கப்பட்ட அளவுகள் எல்லாவற்றையும் நான்கால் வகுக்கவேண்டும். வகுத்தபிறகு நமக்குக் கிடைக்கும் வெப்பநிலை 8,000,000 டிகிரிகளாகும்.

முக்கியமான எல்லா ஆராய்வுகளையும் எடுத்துக்கொண்டால் இந்த வெப்பநிலை 20,000,000 டிகிரிகள் அளவில் இருக்கும். நம்முடைய அனுபவத்திற்கு மீறி இருக்கும் இந்த வெப்பநிலையை எளிதில் எண்ணிப் பார்க்கமுடியவில்லை. ஒரு சாதாரண குண்டூசித் தலை அளவுள்ள ஒரு பொருளை 20,000,000 டிகிரி அளவு வெப்பநிலையில் வைத்திருப்பதென்றால், நூறுமிலியன் மிலியன் குதிரைத் திறனுடைய ஓர் எந்திரத்தின் முழு ஆற்றலும் தேவையாக இருக்கும். இந்தக் குண்டூசித்தலை அளவுள்ள பொருள் நூறு மைலுக்குள் இருக்கும். ஒருவரைக் கொன்று விடும் அளவுக்கான வெப்பத்தை வெளிவிடும். இந்த வெப்பநிலை மிக

அதிகமாயிருந்தாலும், கணக்கிட்டுப் பார்க்கும்பொழுது ஒரு கூட்டணுவை முற்றிலும் பிரிக்கக்கூடிய அளவில் இல்லை என்று தெரிகிறது. இந்த வெப்பநிலை ஓர் அணுவின் மின்அணுக்களை அவைகளின் *K*-வளையத்திற்குப் பிரித்துவிடும்; ஆனால், இவைகள் (*K*-வளையங்கள்) அப்படியே இருக்கும் (பக்கம் 158). ஓர் அணுவின் அணுக்கருவிலிருந்து *K*-வளைய மின் அணுக்களைப் பிரிப்பதற்கு இதைவிட அதிக வெப்பநிலை வேண்டும். இது ஞாயிற்றின் மைய வெப்பநிலை அளவு எல்லைக்குள் (range of temperature) இருக்கும். இஃது எல்லா வெப்பநிலைகளுக்கும் உண்மையாயிருக்கிறது. இந்த உண்மை, ஞாயிற்றில் உள்ள அணுக்களின் அணு எடை, அணு எண் இவைகளுக்கும் பொருத்தமாயிருக்கிறது.

இதனால், ஞாயிற்றின் மத்திய பகுதிகள் *K* வளையங்களுக்குப் பிரிக்கப்பட்ட அணுக்களை உடையவை என்று கொள்ளலாம். இந்த அணுக்கள், தனித்தனியே இயங்குவனவாக இருக்கின்றன. கிட்டத்தட்ட வாயுவின் அணுக்கூட்டுகள் மாதிரி, இந்த அணுக்களுடன் *L*-வளையம் *M*-வளையங்களாக இருந்த மின் அணுக்களும் இயங்குகின்றன (விரைந்துகொண்டிருக்கின்றன). இவையனைத்தும் 20,000,000, டிகிரிகள் வெப்பநிலையில் உள்ளன. உள்ளிருந்து, ஞாயிற்றின் மேற்புறத்திற்கு, வெளிப்புறமாகச் செல்லும்பொழுது, வெப்பநிலை குறையும். இந்த வெப்பநிலையில் அணுக்கள் முற்றிலும் பிரிக்கப்படாமல் இருக்கும். கடைசியாக ஞாயிற்றின் வெளிப்புறத்தின் அருகிலிருக்கும் பொழுது, அணுக்கள் பிரிக்கப்படாதனவாகவும், அல்லது, வெளிப்புறமுள்ள மின் அணுக்கள் பிரிக்கப்பட்டனவாகவும், அல்லது முழுக் கூட்டணுக்களாகவும் உள்ள இவைகள், புவியில் காணப்படாத CN, CH, NH, OH, TiO, AlH, AlO, BO, SiF என்ற பொருள்களைச் சேர்ந்தவைகளாக இருக்கும். இதே முறையில், விண்மீன்களின் உட்புறத்தைப்பற்றி ஆராயும்பொழுது, எல்லா முழுவரிசை விண்மீன்களும் ஞாயிற்றினுடையதைப்போன்ற அளவில் நடுப்புற வெப்பநிலைகளை (central temperatures) உடையனவாக இருக்கின்றன என்ற ஒரு முக்கிய உண்மையை அறிகிறோம். இந்த வெப்பநிலைகள் ஞாயிற்றினுடையதாகிய 20,000,000 டிகிரிகளிலிருந்து (முழு வரிசையைச் சேர்ந்த ஞாயிற்றின் அருகில் உள்ள விண்மீன்களும் இதே வெப்பநிலை உடையனவாக இருக்கின்றன) முழு வரிசையைச் சேர்ந்த அதிக வெளிச்சத்தை உடைய விண்மீனின் வெப்பநிலையாகிய 30,000,000 டிகிரிகள்வரை உள்ளன. வெளிச்ச அளவில் நூற்றுக் கணக்கான ஆயிரங்களளவில் உள்ள வீச்சு (range), நடுப்புற வெப்பநிலைக்கு 1·5 அளவு வீச்சு உடையதாகும்.

முழுவரிசை விண்மீன்களுக்குப் பொதுவான பண்பு (property) இஃது ஒன்றுமட்டுமன்று. ஸீயர்ஸால் கணக்கிடப்பட்ட சராசரி விண்மீன்

அடர்த்திகளைக் (mean stellar densities) காண்பிக்கும் 19ஆம் படத்திலிருந்து, முழுவரிசை விண்மீன்கள் எல்லாம் ஒரே சராசரி அடர்த்தியை உடையன என்று (இருகோடிகளிலும் உள்ளவைகளைத் தவிர) அறியலாம். ஞாயிற்றின் சராசரி அடர்த்தி 1·4, அதாவது, ஞாயிற்றின் 1 கன மீட்டர் பொருளின் எடை 1·4 டன். ஞாயிற்றின் மத்தியில் இந்த அடர்த்தி 70 ஆக இருக்கலாம். அதாவது, ஒரு கன மீட்டரின் எடை இங்கு 100 டன்களாகும். ஒப்பனையாக, ஒரு கன மீட்டர் ஈயம் 11 டன்கள் எடையுள்ளதாகும்.

எல்லா விண்மீன்களும், ஞாயிற்றைப்போன்று அமைக்கப்பட்டால், ஒரே சராசரி அடர்த்தியுள்ள இரு விண்மீன்களின் உட்புற அடர்த்திகள் ஒன்றாக இருக்கும். ஆனால், ஞாயிற்றைப்போன்று பலமடங்கு பெரிதாக உள்ள விண்மீன்களில், கதிர்வீச்சின் அழுக்கம் (pressure of radiation) என்ற புதிய காரணம் (factor) ஏற்படுகின்றது—அதாவது, பொருண்மையின் காரணமாக ஏற்படும் கதிர்வீச்சின் அழுக்கம் என்பதாகும். அநேக விண்மீன்களைப் பொறுத்தவரை மின் அணுக்களும், பொருள்களின் அணுக்களும் மோதும்போது ஏற்படும் அழுக்கலைவிட, மேற்கூறிய அழுக்கலின் அளவு மதிப்பிற் சிறியது. ஆனால், மிகப் பெரிய விண்மீன்களில், அந்த விண்மீன்களின் அமைப்பையே பாதிக்கும் வகையில் இதன் அளவு பெரியதாக இருக்கும். இதன் காரணமாகத்தான் பக்கம் 207-ல் உள்ள அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்ட விட்டங்களை உடைய விண்மீன்களின் பரிமாணங்கள் சாதாரண அளவைவிட மிக அதிகமாக இருக்கின்றன. கதிர்வீச்சு அழுக்கத்தின் சலசலக்கும் தன்மைகளுள் (disturbing effects) முக்கியமானது, ஒரு பளுவான விண்மீனின் எடை (இலேசான விண்மீனைக்காட்டிலும்) அதன் நடுப்புறத்தில்தான் திரண்டிருக்கும் என்பதாம். ஆகையினால், ஓர் இலேசான விண்மீனும், பளுவான விண்மீனும் ஒரே சராசரி அடர்த்தி உள்ளவைகளானால் பளுவான விண்மீன், நடுப்புறத்தில் அதிக அடர்த்தி உள்ளதாக இருக்கும். இதற்கான தள்ளுபடியைச் செய்தால் முக்கியத் தொடரில் முதலாக இருக்கும் எல்லா விண்மீன்களும், அவைகளின் நடுப்புறத்தில் ஏறக்குறைய ஒரே அடர்த்தியை உடையவைகளாக இருக்கும். ஏறக்குறைய ஒரு கன மீட்டருக்கு 100 டன்கள் அளவுள்ள, ஞாயிற்றின் நடுப்புற அடர்த்திக்குச் சமமாக இருக்கும். இந்த விண்மீன்களின் நடுப்புறங்களின் வெப்பநிலை ஏறக்குறைய ஞாயிற்றின் நடுப்புறத்தின் வெப்பநிலை அளவிருக்கும் என்று ஏற்கெனவே பார்த்தோம். ஆகையினால், அவைகளின் அமைப்பு மிகையாக ஒன்றுயிருக்கும். ஆகையினால் இந்த விண்மீன்களின் நடுப்புறங்களில் உள்ள அணுக்கள் ஞாயிற்றினுடைய நடுப்புறத்திலுள்ளவைகளைப்போல் பிரிக்கப்பட வேண்டும். அதாவது மின் அணுக்களின் K-வளையங்கள் அப்படியே இருக்கும். ஆனால், மின் அணுக்களின் வெளிப்புற வளையங்கள் தனித்

தனியே பறந்துகொண்டிருக்கும் கூட்டணுக்களைப்போலுள்ள மின் அணுக்களாக மாற்றப்பட்டுப் பறந்துகொண்டிருக்கும்.

முக்கியத் தொடரில் உள்ள எல்லா விண்மீன்களின் உட்புறங்களும், ஒரே வகையான பௌதிக நிலைகளை உடையவை என்று, நமக்கு வேண்டிய அளவு நுட்பத்திற்கு வைத்துக்கொள்ளலாம். இந்தத் தன்மை ரஸ்ஸல் விளக்கப்படத்தின்மூலம் முக்கியத்தொடரின் பௌதிக நிலையைப்பற்றி நாம் அறிய, ஓர் அடிப்படைக் கொள்கையாக இருக் கிறது.

ரஸ்ஸல் படத்தில் முதன்மையான தொடருக்கு வலப்புறமிருக்கும் ஒரு விண்மீனின் விட்டம், அந்த விண்மீனின் எடையை உடைய முதன்மையான தொடர் விண்மீனின் விட்டத்தைக்காட்டிலும் அதிகமாக இருக்கும் என்பதை 18ஆம் படத்திலிருந்து அறியலாம். ஆகை யினால் இப்பொழுதுள்ள அதன் விட்ட அளவிற்கு அது சுருங்குவதற்கு வேண்டிய ஆற்றல் குறைவாகும். ஆகையினால், பாயிங்கரேயின் தேற்றப்படி அதன் இயக்க ஆற்றலும் குறைவாகும். ஆகையினால் அதன் உட்புற வெப்பநிலைகள் குறைவாக இருக்கும். அதன் அணுக்கள் குறைந்த அளவில் தோன்றியவையாக இருக்கும்.

அன்டாரிஸ் போன்ற சிவப்புப் பெரு விண்மீன்கள், ஒரு மிலியனி லிருந்து ஐந்து மிலியன் டிகிரிகள் உட்புற வெப்பநிலைகளுடையதாக இருக்கும் என்று கணக்கீடுமூலம் அறியலாம். இதனால் அவை, மின் அணுக்களின் *K*-வளையங்களைமட்டுமின்றி *L*-வளையங்களையும், ஒரு வேளை *M*-வளையங்களையும்கூட அப்படியே வைத்திருக்கும். முதன்மை யான தொடருக்கு இடப்புறத்தில் உள்ள விண்மீன்கள் (வாயுவாக இருக்கின்றன என்று எடுத்துக்கொண்டால்) இன்னும் அதிகமாகச் சுருங்கியவைகளாக இருக்கும். இம்மாதிரியான விண்மீன்கள் இன்னும் அதிக வெப்பநிலைகளையும், முற்றிலும் பிரிக்கப்பட்ட அணுக்களை உடையனவாகவும் இருக்கும். உண்மையில், வெள்ளைக் குறுமீன்கள் வரை ஒரு விண்மீனும் காணுவதில்லை. இந்த நிலையில் விண்மீன் பொருள் (தோராய அளவில்கூட) முற்றிலும் வாயுவினாலானவை என்று நினைக்கமுடியாது. ஸிரியஸ் *B*-யின் சராசரி அடர்த்தி, நீரைவிட 80,000 மடங்காகும். வான் மானன் விண்மீனின் அடர்த்தி 300,000 மடங்குக்கு மேலாகும். பொருள்களை இவ்வளவு நெருக்கமாக அடக்கிவைக்க முடியாது. மின் அணுக்களின் அணுக்களை அவைகளின் அணுக்கரு வாகப் பிரித்தாலன்றி தப்பிவிட்ட ஒரு சில. அணுக்களைத் தவிர, பொரு ளில் உள்ள மற்ற எல்லா அணுக்களும், அணுக்கருக்களாகவும், விண் மீனினுள்ளே தனித்தனியே இயங்கும் மின் அணுக்களாகவும் பிரிக்கப் பட்டவைகளாக இருக்கும்.

விண்மீன் அமைப்பு
(Stellar Structure)

ஒரு விண்மீன் ஒரு வீட்டைப்போலவே அல்லது ஒரு மண் குவியலைப்போலவே அதன் எடையின் காரணமாகவே கீழே விழுந்து விடும். இஃது ஏன் அப்படியாவதில்லை என்றால், இதனுள் உள்ள ஒவ்வோர் அடுக்கின் ஈர்ப்பும் அதற்கு அடுத்தாற்போல் உட்புறமாக இருக்கும் அடுக்கின் அமுக்கத்தால் தாங்கப்படுகின்றன. இது சாதாரண வாயு அமுக்கத்தைப்போல் (gas pressure) கூட்டணுக்களின் மோதலினால் ஏற்படுவதில்லை. இஃது ஓரளவில் மின் அணுக்கள் பிரிக்கப்பட்டோ அல்லது அணுக்கருவாக ஆக்கப்பட்டோ உள்ள அணுக்களின் மோதலினால் ஏற்படுகிறது; அதிக அளவில் பிரிக்கப்பட்ட மின் அணுக்களின் கூட்டுமழையினால் (hail of free electrons) ஏற்படுகிறது. இதைவிட அதிக அமுக்கம், பொருண்மையைத் தாங்கிச் செல்லும் கதிர்வீச்சுகளின் மோதலினால் ஏற்படும் என்பதையும் அதனால் அதற்கு எதிராக வரும் எந்தப் பொருளின்மேலும் அமுக்கத்தைப் பயன்படுத்துகின்றது என்பதையும் பார்த்தோம். மிகப்பெரிய விண்மீன்களில், இது மொத்த அமுக்கத்தில் பெரும்பான்மைப் பகுதியாகும்; அரைமடங்குக்கு மேலானதாகும். பிரிக்கப்பட்டுச் சுதந்திரமாக இருக்கும் மின் அணுக்களின் (free electrons) அமுக்கமும், கதிர்வீச்சின் அமுக்கமுமாக இரண்டும் சேர்ந்து விண்மீன் தன் ஈர்ப்பினால் உட்புறமாக (சுருங்கி) விழுந்துவிடாதபடி செய்கின்றன.

இஃது ஒரு விண்மீனின் உட்புறத்தைப்பற்றிய ஒப்புக்கொள்ளக் கூடிய ஒளிப்படத்தைக் கொடுக்கின்றது. இதற்கு ஒப்பனையான படம், அணுக்களை α-துகள்களாகவும், மின் அணுக்களை β-கதிர்த்துகள்களாகவும் (β-ray particles), கதிர்வீச்சை γ-கதிர்களாகவும் (பெரும்பான்மையான விண்மீன்களின் கதிர்வீச்சில் பெரும்பாலும் X-கதிர்களாலும்) வைத்துப் பார்க்கும்பொழுது கிடைப்பதாகும். இவைகள் விண்மீனில் ஊடுருவிச் செல்லுகின்றன. சோதனைக்கூடத்தில் α-கதிர்களைவிட β-கதிர்கள் அதிகமாக ஊடுருவிச் செல்லும். γ கதிர்கள் இவை இரண்டையும்விட அதிகமாக ஊடுருவிச் செல்லும்.

விண்மீனில் ஆற்றலின் இடப்பெயர்ச்சி (Transport of Energy in a Star)

வாயுவின் வெப்பம் கூட்டணுக்களின் இயக்க ஆற்றலாகும் என்பதைப் பார்த்தோம். வாயுவின் வெப்பக் கடத்தலை, கூட்டணுக்களை ஆற்றலை ஏற்றிச் செல்லும் ஊர்திகளாக வைத்து ஆராயலாம். இந்தக் கூட்டணு, இரண்டாவது கூட்டணுவுடன் மோதினால் இரண்டிற்கும்

ஏற்படும் ஆற்றலை இவைகளுக்குள் பிரித்துக்கொள்ளுகின்றன. இந்த முறையில், வெப்பம் சூடான இடங்களிலிருந்து, குளுமையான இடங்களுக்குக் கடத்திச் செல்லப்படுகிறது. ஒவ்வொரு கூட்டணுவுக்கும் ஒரு கடத்தல் திறன் (power of transport) இருக்கிறது. இஃது இயக்க ஆற்றல், இயக்க வேகம், 'சுயேச்சைப் பாதை' (free-path) இவைகளின் கூட்டு விகிதத்திற்கு (jointly proportional) ஏற்ப இருக்கும். சுயேச்சைப் பாதை என்பது இரண்டு அடுத்துள்ள மோதல்களுக்கும் இடையே உள்ள தூரம்.

ஒரு விண்மீனின் உட்புறத்தில், மூன்றுவகை ஊர்திகள் இருக்கின்றன. அணுக்கள் (அல்லது கூட்டணுக்கள்), சுதந்திர மின் அணுக்கள், கதிர் வீச்சு. இவைகளை ஊர்திகளாகக்கொள்ளவேண்டியளவை ஒப்புக்கொள்ள (relative capacities) இவைகளின் ஒவ்வொன்றின் ஆற்றல், வேகம், சுயேச்சைப்பாதை இம் மூன்றையும் பெருக்கிவரும் தொகையைக்கொண்டு அறியலாம். உதாரணமாகக் கதிர்வீச்சின் சுயேச்சைப்பாதையை, இதில் (கதிர்வீச்சில்) 63 சதவீத அளவு உட்கவரப்படும்வரை அது செல்லும் தூரம் என்று கொள்ளலாம். ஏனென்றால், இதன் ஆற்றலைக் கடத்திச் செல்வதற்கு வேண்டிய சராசரி தூரம் இதுவாகும் (சுயேச்சைப்பாதை). கணக்கிட்டுப் பார்க்கும் பொழுது, அணுக்கருக்கள், மின் அணுக்கள் இவைகளின் ஊர்தி கொள்ளளவு (carrying capacity) கதிர்வீச்சிற்குள்ளதைக்காட்டிலும் மிகச் சிறியதாகவே இருக்கிறது. அணுக்கருக்களும், மின் அணுக்களும் அதிக ஆற்றலை உடையவைகளாக இருந்தாலும் அவைகளின் மெல்லிய (feebler) அல்லது வலுக்குறைந்த ஊடுருவுந் தன்மையினால் இந்த ஆற்றலை ஏற்றிச் செல்லும் தூரம் அதாவது, சுயேச்சைப்பாதை, மிகவும் குறைவாக இருக்கிறது. இவைகளின் கடத்தும் வேகம் (speed of transport) குறைவானது. ஏனென்றால், கதிர்வீச்சு அதன் ஆற்றலைக் கடத்திச்செல்லும் வேகம் ஒளியின் நேர்வேகத்தின் அளவாகும். ஆகையினால், பெரும்பாலும், ஒரு விண்மீனின் உட்புறத்திலிருந்து அதன் மேற்புறத்திற்கு ஆற்றலைக் கடத்திச்செல்வது கதிர் வீச்சு ஒன்றேயாகும். இந்தப் பொதுப்படையான வாசகத்திற்கு இரண்டு விலக்குகள் உண்டு. முதலாவதாக, மிக உயர்ந்த அடர்த்தியை உடைய வெள்ளைக் குறுமீன்களைப்போன்ற விண்மீன்களில் மின் அணுக்களே சிறந்த ஆற்றல் ஊர்திகள் என்று கோதாரி (Kothari) என்பவர் காண்பித்திருக்கிறார். இரண்டாவதாக கௌலிங் (Cowling) என்பவர் அநேக விண்மீன்களின் மத்தியில் ஆற்றலை முதன்மையாக, சலன (convection) முறையால் கடத்திச்செல்லப்படும் சிறிய நடுப்புறப்பகுதிகள் உள்ளன என்பதற்குக் காரணங்களைக் காட்டியிருக்கிறார். அதாவது மேலும், கீழும் ஓடிச்செல்லும் விண்மீன் பொருள்கள் (stellar matter) உள்ளன என்றும், இதனால் இப் பொருள்கள் நாம் எடுத்துச்

சொல்லிய பகுதியினுடன் முற்றிலும் கலக்கப்பட்டிருக்கும் என்றும் கொள்ளலாம். இது காற்று, வளிமண்டலங்களை அவைகளின் சலன அடுக்குகளுடன் (convective layers) கலந்து வைத்திருப்பதுபோல், இந்த விலக்கான நிலைகளைத் தவிர, விண்மீன்களின் உட்புறத்திலிருந்து மேற்புறத்திற்கு ஆற்றலை ஏற்றிச் செல்வதில் கதிர்வீச்சு, அணுக்கள், மின் அணுக்கள் இவைகளைவிடச் சிறந்ததாக இருக்கிறது. ஆகையினால் ஒரு விண்மீனின் உட்புற அமைப்பு, அதன் உள்ளிருக்கும் பொருளின் ஒளிபுகாத் தன்மையைப் (opacity) பொறுத்திருக்கிறது. இது மாற்றப்பட்டால் கதிர்வீச்சின் எடுத்துச் செல்லும் திறன் (carrying power) மாற்றப்படுகிறது. இது விண்மீனின் அமைப்பையே மாற்றி விடும். முற்றிலும் ஒளிபுகும் (transparent) உட்புறத்தை உடைய விண்மீன் வெப்பத்தை உடையதாயில்லை. இதன் உட்புறம் முழுவதும் மிகக் குறைந்த வெப்பநிலையில் இருக்கும். இதன் அளவு மிகப்பெரிய தாக இருக்கும். ஒளிபுகா விண்மீனில், ஆற்றல் முழுவதும் அஃது உற்பத்தியாகும் இடத்திலேயே குவிந்திருக்கும் (accumulated). ஆகையினால், அதன் உட்புற வெப்பநிலை மிக அதிகமாக இருக்கும்; விட்டம் சிறியதாக இருக்கும். மத்தியதரமாக உள்ள விண்மீன்களே நடைமுறைப் பயனுள்ளதாக இருக்கும். ஆனால், மேற்சொல்லிய எல்லைப் பண்புகளுடைய (extreme) விண்மீன்கள், ஒரு விண்மீனின் அமைப்பு எப்படி அதன் ஒளிபுகாத் தன்மையைப் பொறுத்திருக் கின்றது என்பதை எடுத்துக்காட்டுகிறது.

ஒரு விண்மீனின் பொருளினுடைய ஒளிபுகாப் பண்பை அளப்பதற் கான நேர்முறை ஒன்றும் கிடையாது. விண்மீன்களின் சூழ்நிலைகளில், புவியின் ஒளிபுகாப் பண்பைக்கூட அளக்கமுடியாது. ஏனென்றால், சோதனைக்கூடத்தில் நாம் எடுத்துக்கொள்ளும் பொருள் எதுவாயினும், அதன் வெப்பநிலையைவிட விண்மீன்கள் அதிக வெப்பநிலையுடையவை களாக இருக்கின்றன. ஆனால், கதிர்வீச்சின் முன்னேக்குப் பயணத்தி லிருந்து, விண்மீனின் பொருள்களின் அணுக்கள், அணுக்கருக்கள், சுயேச்சை மின் அணுக்கள் இவைகளைப்பொறுத்து அந்தப் பொருள் களின் ஒளிபுகாத் தன்மை அமையும் என்பதைக் கண்டறியலாம். விண் மீனின் பொருளின் மாதிரி இல்லாவிட்டாலும், இந்த மாதிரியில் எத்தனை அணுக்கள், அணுக்கருக்கள், மின் அணுக்கள் இருக்கின்றன என்பது சரியானபடி நமக்குத் தெரியும். இதிலிருந்து கோட்பாட்டு முறையில் அதன் ஒளிபுகாத் தன்மையைக் கணக்கிட்டறியலாம்.

கோபன்ஹேகனில், 1923ஆம் ஆண்டு, கிரேமர்ஸ் (Kramers) என்பவர் இந்த முறையில் கணக்கிட்டுப் பார்த்திருக்கிறார். இதை, சிறிய மாறுதல்களோடு, எல்லோரும் பொதுவாக ஏற்றுக்கொண்டிருக் கின்றனர். இவை, விண்மீன் சூழ்நிலையிலும் பொருந்தும். சோதனைக் கூடத்தில் சோதித்துப் பார்க்கும் அளவு இவைகள் நுண்காட்சியில்

அறிந்தவைக்குப் பொருந்தியதாக உள்ளன. சோதனைக்கூடத்தின் சூழ்நிலைக்கும், விண்மீனின் சூழ்நிலைக்கும் அதிக இடைவெளி இருந்தாலும், கிரேமரின் வாய்பாடு (formula) சரியானதன்று என்பதற்கு ஆதாரமில்லை.

இந்த வாய்பாட்டிலிருந்து ஒரு விண்மீனின் அமைப்பை முற்றிலும் அறியலாம். அல்லது விண்மீன் அமைப்பு தெரிந்தால், மேற்புறத்திற்குப் பாயும் ஆற்றல் அளவை, கிரேமர் வாய்பாடுமூலம் அறியலாம். (இது முற்றிலும் விண்மீனின் ஒளிபுகாத் தன்மையைப் பொறுத்திருக்கும்.) இதிலிருந்து, விண்மீன் அஃது இப்பொழுதுள்ள நிலையில் இருப்பதற்கு எந்த அளவில் அதனுள் ஆற்றலை உண்டாக்குகிறது என்பதைத் தெரிந்துகொள்ளலாம். இதனுல் ஒரு விண்மீனின் வெளிச்ச அளவு எந்தவிதத்தில், அதன் பொருண்மை, விட்டம் இவைகளைப் பொறுத்திருக்கிறது என்பதைக் கணக்கிட்டு அறியலாம். இதிலிருந்து இரண்டு விண்மீன்கள் பொருண்மை அளவுகளைவிட, வெளிச்ச அளவுகளில்தான் அதிக மாறுபாட்டுடன் இருக்கும் (பக்கம் 52) என்பதற்குக் காரணத்தை அறியலாம். பொருண்மையில் சிறிய மாறுபாடு, வெளிச்ச அளவில் அதிக மாறுபாட்டைக் காண்பிக்கும். விண்மீன்களின் உட்புற அமைப்புகளைப்பற்றி சில தாற்காலிக அடிப்படைகளை 'வைத்து, எடிங்க்டன் என்பவர், அந்த விண்மீன்களின் பொருண்மைக்கும் வெளிச்ச அளவுக்கும் உள்ள கோட்பாட்டுத் தொடர்பை (theoretical relationship) கணக்கிட்டுச் சொல்லியிருக்கிருர். இது முதன்மைத் தொடரின் விண்மீன்களுக்கு ஏறக்குறைய உண்மையாக இருக்கிறது. ஆகையினுல், எப்பொழுதாவது ஒரு விண்மீனின் பொருண்மையை அதன் வெளிச்ச அளவிலிருந்து கண்டறிய இந்த முறை பயன்படுத்தப்படுகிறது. மேற்கூறிய தொடர்பைப் 'பொருண்மை-வெளிச்ச அளவு விதி' (mass-luminosity law) என்று பொதுப்படையாகச் சொல்லுவார்கள். இஃது ஒரு கடினமான கணித வாய்பாடுமூலம் கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதை ஏறக்குறைய சரியான அளவில், ஒரு விண்மீனின் வெளிச்ச அளவு அதன் பொருண்மையின் மூன்ரும் அடுக்கின் (cube) விகிதத்தில் இருக்கும் என்ற எளிய விதிப்படி கணக்கிட்டறியலாம். அதாவது, ஒரு விண்மீனின் பொருண்மை மற்ரென்றைவிட இரட்டிப்பானுல், இதன் வெளிச்ச அளவு மற்ரென்றைப்போல் 8 மடங்காகும்.

வாயுவில் உள்ளதைப்போல், மின் அணுக்களும் பிரிக்கப்பட்ட அணுக்களும் நன்ருக இயங்கும் அளவு அமைக்கப்பட்டிருக்கும் பொருளை உடைய ஒரு விண்மீனை எடுத்துக்கொள்வோம். இதில் மோதுவதற்கான வாய்ப்பு குறைவாகவும், அடுத்துள்ள மின் அணுக்களுக்கும் பிரிக்கப்பட்ட அணுக்களுக்கும் உள்ள தூரம் அவைகளின் ஒற்றைப் பரிமாணங்களைவிட (linear dimensions) அதிகமா

யிருக்கும். இந்த நிலையை 'வாயு நிலை' என்று சொல்வோம். ஏனென்றால், விண்மீனின் உட்புறம், வாயுவைப்போல் கூட்டணுக் களுக்குப் பதிலாக மின் அணுக்களும் பிரிக்கப்பட்ட அணுக்களும் உள்ளனவாக இருக்கும்.

கிரேமரின் கோட்பாட்டின்படி, ஒரு பொருளின் ஒளிபுகாத் தன்மை, அதனுள் உள்ள அணுக்களின் அணு எண், அணு எடை இவைகளைப் பொறுத்திருக்கிறது. சிறுசிறு அணுக்கருக்களாகப் பல அணுக் கருக்கள் இருப்பதைவிட, ஒரே ஒரு பெரிய அணுக்கரு இருப்பது கதிர் வீச்சை உட்கொள்வதற்குத் தக்கதாக இருக்கும். தினப்படி புவியில் நமக்கு ஏற்படும் அனுபவங்களும் இதையேதான் காண்பிக்கின்றன. இதனால்தான், பௌதிகரும் (physicist), அறுவை மருத்துவர்களும் (surgeon) எக்ஸ்-கதிர் கருவியில் (X-ray apparatus) திரையிடு வதற்கு ஈயத்தையே பயன்படுத்துகிறார்கள். ஒரு டன் மரம் அல்லது இரும்பைவிட 1 டன் ஈயம் வேண்டாத எக்ஸ்-கதிர்களை நன்றாகத் தடுக்கிறது. எக்ஸ்-கதிர் கருவியிலிருந்து வெளியிடப்பட்ட மொத்த ஆற்றலையும், அதைச் சுற்றியுள்ள மொத்த மறைக்கும் பொருள் களையும் அறிந்தால் இதிலிருந்து வெளிவந்த மொத்த எக்ஸ்-கதிர் வீச்சின் மொத்த அளவைக் கணக்கிட்டு, அதன் அணு எடையைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

இந்தமாதிரியான முறையிலே ஒரு விண்மீனின் அணுக்களின் எடையையும் அறியலாம். ஒரு விண்மீன் ஒரு பெரிய எக்ஸ்-கதிர் கருவியாகும். பல விண்மீன்களுடைய எடைகள் நமக்குத் தெரியும். அதனால் எக்ஸ்-கதிர் உற்பத்தியாகும் அளவு, அதிலிருந்து வெளிவரும் கதிர்வீச்சின் அளவுக்குச் சமமாகும். ஒரு விண்மீனின் ஒவ்வோர் அணுக்கருவையும் இரண்டாகப் பிரித்தால், இதில் விண்மீனின் ஒளி புகாத் தன்மையில் பாதி கிடைக்கும். ஆகையினால், இதன் கதிர்வீச்சு உட்கொள்ளப்படுவதற்குள் இரண்டு மடங்கு தூரம் சென்றுவிடும். விண்மீன் வாயுவானால் இதன் விட்டம் நான்கு மடங்கு (இதனால்) பெரிய தாகிவிடும். இதன் மேற்புற வெப்பநிலை பாதியாகிவிடும். ஆகையினால், ஒரு விண்மீனின் அணுக்களின் அணு எடையை, அதன் எடை, வெளிச்ச அளவு, மேற்புற வெப்பநிலை இவைகளிலிருந்து கணக் கிடலாம்.

ஒரு விண்மீன் அநேகமாக ஹைட்ரஜனால் அமைக்கப்பட்டிருக்கா விட்டால், அப்பொழுது பல விண்மீன்களுடைய அணு எடைகள், விண் மீன்களை வாயுவினாலானவை என்று வைத்துக் கணக்கிடப்பட்டால், இந்த எடை, மிகவும் உயர்ந்த அணு எடையுள்ள யுரேனியம் என்பதைக்காட்டிலும் அதிகமாக இருக்கும். இவைகள் பெரியதாக

மட்டும் இல்லாமல், மிகப் பெரியதாக இருக்கின்றன; நம்பத்தகாத அளவு பெரியதாக இருக்கின்றன.

மற்ருெரு பக்கம், விண்மீன் பொருள் அநேகமாக ஹைட்ரஜனுடையதாளுல், மாற்றுவழி ஒன்று இருக்கின்றது. இதில் சில விண்மீன்களாவது முற்றிலும் ஹைட்ரஜனிஞல் ஆனவை என்று வைக்க வேண்டும். மற்றவைகளை அநேகமாக ஹைட்ரஜனை உடையவை என்றும் வைக்கவேண்டும். இதில் தவறு ஒன்றும் இல்லை. ஏனென்ருல், விண்மீன்களின் அமைப்பில் உள்ள பொருள்களால், ஹைட்ரஜனைப் பற்றித்தான் நமக்குச் சரியாகத் தெரியும். ஞாயிற்றின் வளிமண்டலத்திலும், விண்மீன்களின் வளிமண்டலங்களிலும் இஃது அநேகமாக முழு அளவில் இருக்கின்றது. ஆகையிஞல், விண்மீன்களில் பெரும்பான்மை அளவு ஹைட்ரஜன் இருக்கின்றது என்று முடிவு கூறலாம். எல்லாத் தேவைப்பட்ட உண்மைகளையும், முதன்மைத் தொடர் விண்மீன்களால் மூன்றில் ஒருபங்கு ஹைட்ரஜனையுடையவை என்ற அடிப்படையை வைத்துச் சரியானபடி பொருந்தியவைகளாகச் செய்து விடலாம் என்று ஸ்டராம்கிரென் என்பவரும், எடிங்டன் என்பவரும் கண்டுபிடித்திருக்கிருர்கள். ஞாயிற்றிற்கு 35 சதவீதம் என்று ஊகமாகச் சொல்லலாம். முதல் வரிசையில் தலைமையாகவுள்ள நீலப் பெருமீன்களுக்கு (giant blue stars) 80 சதவீதமாகும். வெள்ளைக் குறுமீன்களின் ஹைட்ரஜன் அளவைப்பற்றி நமக்குச் சரியாகத் தெரியாவிட்டாலும், அவைகளில் இதன் இருப்பு கவனிக்கத்தகாத அளவில் இல்லை என்று சொல்லலாம்.

விண்மீன்களின் படிமுறை வளர்ச்சி (Evolution of Stars)

விண்மீன்களைச் சுற்றிக்கொண்டிருக்கும் அணுக்கருக்களிஞல் எறியப்பட்ட வாயுப் புள்ளிகளிஞல் உண்டாக்கப்பட்டவை என்று நினைக்கும்படி இருக்கின்றது. இதற்கு முதலில் இந்த அணுக்கருக்களின் வெளியோரங்களில் கெட்டியாக்கப்பட்ட உருவங்களாக இருந்திருக்க வேண்டும். இவைகள், முதன்முதலில் ஏற்பட்டிருக்கும்போது பல வகைப்பட்டவைகளாகவும், அளவில் பலவிதமாகவும், ஆஞல் எல்லாம் ஒரு குறிப்பிட்ட பொருண்மைகளை யுடையனவாகவும் இருந்திருக்க வேண்டும். இவைகளுக்கெல்லாம் பொதுவானது அவைகளின் மெலிவாகும். அடர்த்தி, நெபுலாக்களின் அடர்த்திக்கு ஒப்பாக இருக்கும்.

இனி இயற்கை விசைகளிஞல் (natural forces) இவைகளுக்கேற்படும் மாறுதல்களைப்பற்றி அறிவோம். இப்பொழுது உள்ளபடி ஞாயிறு, 3000 மிலியன் ஆண்டுகளாகக் கதிர்வீச்சை வெளிப்படுத்திஞல், இதன் பொருண்மையில் 5000-ல் ஒரு பங்கு குறைந்துவிடும்.

இவ்வளவு சிறிய அளவை நாம் தள்ளுபடி செய்துவிட்டு, ஞாயிற்றின் பொருண்மையை ஒரே அளவில் இருப்பதாக எடுத்துக்கொள்ளலாம். ஞாயிறு, பக்கம் 217-ல் உள்ள படத்தில், அதன் வாழ்க்கைக்கால அளவுகள் (period of life) ஒவ்வொன்றிலும், 'பொருண்மை (Mass) = 1' என்று குறிப்பிடப்பட்ட கோட்டின்மேலுள்ள (ஏதோ) ஓர் இடத்தில் இருந்திருக்கவேண்டும். இதிலிருந்து ஞாயிற்றின் வாழ்க்கையில் ஏற்பட்ட எல்லா மாறுதல்களையும், இந்தக் கோட்டின்மூலம் கண்டு அறியலாம். இந்தக் கோட்டில், முதன்மை வரிசைக்கு இடப் புறத்திலிருக்கும் குறியிடப்படாத (uncharted) பாகங்களையும் எடுத்துக் கொள்ளவேண்டும்.

இது (ஞாயிற்றுக்குரியது) எல்லா விண்மீன்களுக்கும் பொருத்தமாக இருக்கும். ஒரு மாறுபாடு யாதெனில், ஒரு விண்மீனின் படிமுறை வளர்ச்சியை அதற்கேற்ற மாறாப் பொருண்மைக் கோட்டின் (line of constant mass) மூலம் அறியலாம். ஆனால், இந்தக் கோடுகள், சராசரித் தன்மைகளைத்தான் காண்பிக்கின்றன. விண்மீன்களின் தனித்தன்மைகளை அல்ல. இந்தச் சராசரி அளவிற்கும் சரியான அளவிற்கும் அதிக வேறுபாடு இல்லாததனால், மேற்கூறிய படத்தில் (படம் 19) இருக்கும் சராசரி மதிப்புகளை விண்மீன்களின் உண்மை நிலைகளைக் குறிப்பவைகளாக எடுத்துக்கொள்வதில் தவறில்லை. ஆகையினால் ஒவ்வொரு விண்மீனின் படிமுறை வளர்ச்சியையும் கிட்டத்தட்ட, அதற்கேற்ற மாறாப் பொருண்மைக் கோடுகளில் ஒவ்வொன்றின்மூலம் காண்பிக்கலாம்.

படிமுறை வளர்ச்சிமுறை போகப்போக, வலப் பக்கத்திலிருந்து இடப் பக்கம் செல்லும் இயக்க முறையில் அமையும். அதாவது, குறைந்த அடர்த்தியிலிருந்து அதிக அடர்த்தி வகையில், அல்லது பெரிய விட்டத்திலிருந்து சிறிய விட்டத்திற்கு மாறும் வகையிலாகும். விண்மீன் மிக மெல்லியதாக அமைந்த உருவிலிருக்கும்பொழுது, இது படத்தில் வலக் கோடியில் உள்ள ஒரு புள்ளியினால் குறிக்கப்படும். படிமுறையாக வளரும்பொழுது, இது சுருங்கி அதிக அடர்த்தியை அடைந்துவிடும். அப்பொழுது படத்தில் இதன் இருப்பு இடப்புறம் நகர்ந்துவிடும். சுருங்கும்பொழுது இதன் வெப்பநிலை, முன்கூறிய முறைப்படி (பக்கம் 218) அதிகரிக்கும். நாட்பட இதன் உட்புற வெப்பநிலை 200,000 டிகிரிகள் அளவில் இதன் வெப்ப அணுக்கரு இயக்கம் (பக்கம் 166) கருதும் அளவில் உள்ள அளவிற்கு இருக்கும். ஆகையினால், விண்மீனின் கதிர்வீச்சு பெரும்பான்மை அளவில் இருக்கும். இது நடப்பதற்குச் சில மிலியன் ஆண்டுகளாகும். ஆற்றலை உண்டாக்கும் வெப்ப அணுக்கரு இயக்கம் இல்லாவிட்டால், ஞாயிறு 50,000,000 ஆண்டுகளில், இப்பொழுதுள்ள அதன் அளவிற்குச் சுருங்கி

விடும். இதைவிடச் சிறிய சுருக்கங்களுக்கு (நாம் இப்பொழுது எடுத்துக்கொண்ட அளவுகளுக்கு) இன்னும் குறைந்த காலம்தான் பிடிக்கும்.

முதன்முதலில் ஏற்படும் மாற்றம் (reaction) புரோட்டான் (proton) மாற்றமாகத்தான் இருக்கின்றது. இந்த மாற்றத்தில், புரோட்டான்கள் ஒன்று சேர்ந்து டியூட்ரான்களாக (deuterons) மாறிவிடுகின்றன. கடைசியில் இன்னும் கனமான துகள்களாக மாறிவிடுகின்றன. இவைகள் ஒன்றேடொன்று மறுபடியும் சேர்கின்றன. இவைகளுள் முதலில் கூறப்பட்டது மிகவும் மந்தமானது (sluggish). இதில் ஏற்படும் ஆற்றல் விண்மீனின் மேற்புறத்திலிருந்து வெளிப்பட்டுக் கிளம்பும் ஆற்றலைவிடக் குறைந்த அளவில் இருக்கும். ஆகையினால் சுருக்கத்தின் வேகத்தைக் குறைக்கும். டியூட்ரான்கள், அவைகள் மறையும்வரை ஆற்றலைப் பெருக்கும். இது விண்மீனின் சுருக்கத்தை முற்றிலும் தடுக்கும் அளவுக்கு இருக்கும். இதற்குப் பிறகு சுருங்க ஆரம்பித்து, புரோட்டான்கள் இலேசான லிதியம், பெரிலியம், போரான் இந்தத் தனிமங்களுடன் சேரும் அளவிற்கான வெப்ப நிலையை அடையும்.

பல மிலியன் டிகிரிகள் வெப்பநிலை என்று வைத்துக்கொள்ளலாம். இது விண்மீனின் நடுப்புறத்திலிருந்து கொடுக்கப்படும் இலேசான அணுக்கருக்கள் முற்றிலும் தீர்ந்துவிடும்வரை வேண்டிய ஆற்றலைக் கொடுக்கும். இந்த அளவில் விண்மீனின் சுருக்கமும் தடுக்கப்படும். முதல் வரிசையிலுள்ள எல்லா விண்மீன்களும் மேற்கூறியவற்றிற்கு வலது அல்லது இடப்புறமான நிலைகளில் இருக்கும். உண்மையில், இந்த விண்மீன்கள் மூன்றுவகைகளில் ஏதாவது ஒருவகையைச் சேர்ந்தனவாக இருக்கின்றன. அவைகளாவன: 18ஆம் படத்தின் வலக் கோடியில் உள்ள சிவப்புப் பெருமீன்கள், சீபைட் மாறுமீன்கள் (Cepheid variables), இடக் கோடியில் உள்ள (அதனுல் முதல் வரிசைக்கு அருகில் இருக்கும்) கொத்து வகைகள் (cluster varieties) என்பனவாம். கேமோ (Gamow), டெல்லர் (Teller) இவர்கள் கோட்பாட்டு வகையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட விண்மீன்களின் இருப்பு நிலைகளும் 18ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டிருக்கும் இருப்பு நிலைகளும் சரியானபடி பொருந்தியிருக்கின்றன என்று கண்டறிந்திருக்கின்றனர். சிவப்புப் பெருமீன்கள் என்ற விண்மீன் தொகுப்பு, படத்தின் வலக்கோடியில் இருப்பது டியூட்ரான்கள் புரோட்டான்களுடனும் இதர டியூட்ரான்களுடனும் சேர்க்கப்படுவதனுல் ஏற்படும் ஆற்றல்களையுடைய விண்மீன்களின் இருப்புநிலைகளில் இருக்கின்றது. இதற்கு அடுத்த தொகுப்பான சீபைட் தொகுப்பு இதைவிட நிச்சயமற்றதாக உள்ளது. இதில் புரோட்டான்கள் 11-அணு எண்ணுடைய லிதியம், பெரிலியம், போரான் இவைகளின் அணுக்கருக்களோடு சேர்ந்த நிலைகளைக் குறிக்கும் மூன்று, ஒன்றன்

மேல் ஒன்ருகப் பரவி இருக்கும் தொகுப்புகளாக இருக்கின்றன. கடைசியாக, கொத்து வகையைச் சேர்ந்த விண்மீன்கள், 10-அணு எண் உள்ள போரானின் அணுக்கருக்களுடன் புரோட்டான்கள் சேரும் வகையைச் சேர்ந்த விண்மீன்களின் இருப்பு நிலையில் இருக்கின்றன.

உட்புறமுள்ள இலேசான அணுக்கருக்கள் எல்லாம் அழிந்து, அதன் சுருக்கத்தைத் தவிர ஆற்றல் உற்பத்திக்கு வேறு ஒரு வழியும் இல்லாத நிலையில், மந்தமான புரோட்டான் புரோட்டானுடன் சேரும் வகையில் ஒரு விண்மீன் இருக்கக்கூடும். இந்தநிலையில் அந்த விண்மீனின் கதிர்வீச்சிற்கு வேண்டிய ஆற்றல் கிடைக்காது. ஆகையினுல், வெப்ப அணுக்கரு இயக்கம் ஏற்படும்வரை அந்த விண்மீன் சுருங்கும். கார்பன் அணுக்கருக்களைக்கொண்ட புரோட்டானின் வெப்ப அணுக்கரு இயக்கம் முதலில் ஏற்படும். இது, 20,000,000 டிகிரிகள் வெப்பநிலையில் ஏற்படும். விண்மீன், அதிக அளவு ஹைட்ரஜனையுடையதாக இருந்தால், வெகுகாலத்திற்கு வேண்டிய ஆற்றல் உற்பத்தியாகும் (கிடைக்கும்). ஞாயிற்றைப்போன்ற வெளிச்ச அளவும், பொருண்மையும் உடைய விண்மீனுக்கு, 100,000 மிலியன் ஆண்டுகள் இருக்கும். இந்த நிலையில், அந்த விண்மீனின் முதன்மை வரிசையைச் சேர்ந்ததாக இருக்கும். இந்த நிலை நீடித்திருப்பதனுல், அநேக விண்மீன்கள் ஏன் முதன்மை வரிசையைச் சேர்ந்தவைகளாக இருக்கின்றன என்பதற்கு விளக்கம் ஏற்படும்.

நாளடைவில், விண்மீனின் நடுப்புறத்திலுள்ள ஹைட்ரஜன் எல்லாம் செலவழிந்து, அதன் சுருக்கத்தைத்தவிர, ஆற்றல் உற்பத்திக்கு வேறு வழியொன்றும் இல்லாமல் போய்விடுகின்றது. ஆகையினுல், அந்த விண்மீனின் முதன்மைத் தொடருக்கு இடப் பக்கம் உள்ள வெள்ளைக் குறுமீன் அல்லது சிறிய குறுமீனுகச் (subdwarf) சுருங்கி விடும். இந்த விண்மீன்கள் குறைந்த அளவில் கதிர்வீச்சை வெளிப்படுத்துவதால், அவற்றில் சுருக்கத்தின்மூலம்தான் பல ஆயிர ஆண்டுகளுக்கான கதிர்வீச்சிற்கு வேண்டிய ஆற்றல் உற்பத்தி ஏற்பட வேண்டும். இவைகளில் சில இந்த வகையைத்தவிர வேறு எந்த வகையிலும் ஆற்றல் உற்பத்தியை ஏற்படுத்தமுடியாமல் உள்ளன. மற்றவைகள், அவைகள் சுருங்கிய அளவினுல், புதிய வெப்ப அணுக்கரு இயக்கத்தை உடையவைகளாக மாறி அதனுல் கதிர்வீச்சிற்கு வேண்டிய ஆற்றலை உடையவைகளாக இருக்கின்றன.

வெப்ப அணுக்கரு இயக்கம், நாம் ஏற்கெனவே பார்த்தபடி, வெப்ப நிலை மாறுதல்களை உணரும்படியானவை. உதாரணமாக, ஞாயிற்றின் நடுப்புறத்தில் இருக்கும் நிலையில், புரோட்டான்-கார்பன் சேர்க்கையினுல் ஏற்படும் ஆற்றல் கிட்டத்தட்ட வெப்பநிலையின் பதினேழாவது அடுக்கிற்கு (17th power) சரியாக மாறும். ஆகையினுல் வெப்ப

நிலையை நான்கு சதவீதம் அதிகப்படுத்தினுல், ஆற்றலின் உற்பத்தி இரண்டு மடங்காகும்.

இருந்தாலும், இந்த இரட்டிப்பு உடனடியாக ஏற்படாது. ஏனென்ருல், அப்பொழுது விண்மீன்கள் மிகவும் நிலையற்றதாகிவிடும் (unstable). மிகச் சிறிய அளவில், விண்மீனின் நடுப்புற வெப்பநிலை அதிகரிக்கப்பட்டால், அதன் ஆற்றல் வெகு விரைவாக உற்பத்தியாகும். அப்பொழுது அதன் வெப்பநிலை அதிகமாகி (ஆற்றல் உற்பத்தியின் அதிகரிப்பால்) வெடித்துவிடும் நிலையை அடைந்துவிடும்.

ஆகையினுல், வெப்பநிலைக்கும் ஆற்றல் உற்பத்திக்கும் பொருத்தம் ஏற்படுவதற்கு (adjustment) காலதாமதம் வேண்டும் என்று பொது விதியினுல் (general principle) அறிகிருேம். ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் உற்பத்தியாகும் ஆற்றல், அந்த நேரத்தில் உள்ள வெப்ப நிலையைமட்டுமன்றி, இறந்தகாலத்தில், ஒரு நேரத்திலோ, அல்லது நேரங்களிலோ உள்ள வெப்பநிலையையும் சேர்ந்திருக்கின்றது. இது மட்டுமன்றி, இந்தமாதிரியான காலதாமதம் உண்மையாகவே ஏற்பட வேண்டும் என்று, கோட்பாடும் சோதனைக்கூட பரிசோதனையும் (laboratory experiment) காண்பிக்கின்றன. கதிரியக்க வகையைச் சேர்ந்த ஒரு வரிசையான மாறுபாட்டிற்குப் பிறகுதான் ஆற்றல் கிடைக்கிறது. இந்தமாதிரியான மாறுபாட்டிற்கு ஏற்ற காலம் வேண்டும். புரோட்டான்-கார்பன் சேர்க்கையில் இந்த மாறுபாட்டிற்குப் பல மிலியன் ஆண்டுகள் ஆகின்றன. இவைகளெல்லாம் வரையறையுள்ள உறுதியான மாறுபாட்டையுடைய ஆற்றல் உற்பத்தியை ஏற்படுத்து கின்றன. இது கால அளவுடைய, வெளிச்ச அளவு மாறுபாட்டையும், பொறித்தொடர்புள்ள அமைப்பில் மாறுபாட்டையும் ஏற்படுத்துகிறது. சுருங்கக்கூறின், எல்லா விண்மீன்களையும் மாறும் வகையைச் சேர்ந்தவை (variable stars) என்று (அதிகாரம் 1-ல் விளக்கியபடி) சொல்லலாம். அப்பொழுது முதன்மை வரிசைக்கு வலப்புறமிருக்கும் விண்மீன்கள் அனைத்துமே, மாறும் விண்மீன்களாகும் என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. இவைகளின் ஒளி ஒழுங்கான காலவட்டத்துடன் (regular period) மேலும் கீழுமாக உயர்ந்து குறைவதன்றி (fluctuate), நிறமாலை நுண்காட்சியினுல், இந்த ஏற்ற இறக்கம் விண்மீனின் துடிப்புடன் (pulsations) ஏற்படும் என்பதையும் காண்போம். விண்மீனின் ஒளி வெளிச்சமாகவும், மங்கலாகவும் மாற அதன் பரிமாணம் பெரியதாயும், சிறியதாயும் மாறும்.

இதனுல், நீண்ட காலவட்டத்தை உடைய மாறும் விண்மீன்களாகிய (long period variables) ஸீபைடுகள், கொத்து விண்மீன்கள் இவைகளின் வெளிச்ச அளவு ஏன் ஏற்றத்தாழ்வான மாறுபாட்டைக் (fluctuations) காண்பிக்கின்றன என்பதை அறிவது எளிது. முதன்மைத்

தொடரைச் சேர்ந்த விண்மீன்கள் ஏன் இந்த ஏற்றத்தாழ்வு மாறுபாட்டைக் காண்பிப்பதில்லை என்பதை அறிவதுதான் கடினம். இதற்குப் பல காரணங்கள் கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஆனால், இதைத் தீர்மானிப்பதற்குமுன் இப்பொழுது நமக்குத் தெரிந்த அளவுக்குமேல், அவைகளின் வெப்ப அணுக்கரு இயக்கம், அவைகளின் உட்புற அமைப்பு இவைகளைப்பற்றிய அறிவு வேண்டும்.

விண்மீன்களின் படிமுறைபற்றிய இந்தக் கருத்தைப் பக்கம் 232-ல் முடிவாகக் கூறப்பட்ட கருத்துடன் இணைத்துப்பார்க்கவேண்டுமானால் ஒரு விண்மீனின் வெளிப்புற அடுக்குகளில் (outer layers) உள்ள ஹைட்ரஜன், முதன்மைத் தொடர் விண்மீன்களைப் பொறுத்தவரை பயன்படுத்தப்படுவதில்லை என்றும், இது வெள்ளைக் குறுமீன் அளவு குறையும்வரை ஹைட்ரஜன் அப்படியே இருப்பதாகவும் கருத வேண்டும். விண்மீனின் நடுப்புறம் உள்ள ஹைட்ரஜன்மட்டுமே எரிந்துவிடுகிறது. இந்த ஹைட்ரஜன் எரியும்பொழுது, சலனமடைந்த உள்ளகம் (convection core) படிப்படியாக அதன் தன்மையில் மாறி, கடைசியாக, அதிலுள்ள பொருள் முற்றிலும் ஒரே வெப்பநிலையை உடையதாகி, இதனால் சலனமே ஏற்படாமல் ஆகிவிடும் என்று சோன்பர்க் (Schönberg) என்பவரும், சந்திரசேகர் (Chandrasekhar) என்பவரும் கருதுகிறார்கள். விண்மீன், முதன்மைத் தொடரைவிட்டு அகலுவதற்கு முன்பு அதனிலிருக்கும் ஹைட்ரஜனில் 10 சதவீதத்திற்குமேல் எரிக்கப்படுவதில்லை என்றும் இவர்கள் கருதுகிறார்கள். இந்த அளவிற்கு எரிந்துபோவதற்கு ஞாயிற்றுக்கு 10,000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குமேல் ஆகிவிடும். இதைவிடப் பெரிய விண்மீன்களுக்கு இதைவிடக் குறைவாக ஆகலாம்.

எப்படியாகிலும், எல்லா விண்மீன்களும் திண்ணமாகத் தெரியாவிட்டாலும்—ஒரே வயதை உடையதாக இருக்கமுடியாது. வெவ்வேறு விண்மீன்களும் வெவ்வேறு காலங்களில் ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும். சிரியஸ் *B*யைப் போன்ற ஞாயிற்றின் பொருண்மையை உடைய வெள்ளைக் குறுமீனின் வயது, 10,000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குக் குறைவாக இருக்கமுடியாது. இப்படி இருக்க, சிறிய குறுமீன் குறைவான பொருண்மையை உடையதாகிலும், குறைவான வெளிச்ச அளவை உடையதாகிலும், அதிக வயதை உடையதாக இருக்கின்றது. மற்றபடி மிகப்பெரிய சிவப்புப் பெருமீன் இதே அளவு வயதுடையதாக இருக்கவே முடியாது. இதன் கதிர்வீச்சு, ஒரு பகுதி இதன் ஈர்ப்புச் சுருக்கத்தினால் (gravitational contraction) ஏற்பட்டிருக்கின்றது. இஃது ஒரு மிலியன் ஆண்டுகளுக்கான கதிர்வீச்சைக்கூடக் கொடுக்காது. மற்றொரு பகுதி சிறிது லிதியத்துடன் கூடிய ஹைட்ரஜன் எரிவதனால், ஒரு சில மிலியன் ஆண்டுகளுக்கான கதிர்வீச்சை ஏற்படுத்தியிருக்க வேண்டும்.

விண்மீன்கள் பற்பல வயதுகளை உடையன என்ற எடுகோள் (hypothesis) இடுக்கண்கள் நிறைந்ததாக இருக்கின்றது. இவைகளை அடுத்த அதிகாரத்தில் எடுத்துக்கொள்வோம். இந்த ஆய்பொருளில் (problem) தெளிவில்லாத, புரியாத உண்மைகள் அநேகம் உள்ளன. ஆனால், இந்தப் பொருள் முழுவதுமே கடந்த சில ஆண்டுகளாக ஆராயப்பட்டவையாகும் என்பதனை நாம் மறக்கக்கூடாது. தெளிவில்லா நிலையிலிருந்து தெளிவு வெகு விரைவாக ஏற்பட்டுவருகிறது. ஆகையினால், மேற்கூறிய இடுக்கண்களை வெகு விரைவிலேயே ஆராய்ந்து தெளிவுபெறுவோம் என்று நம்பிக்கை அடையப் போதிய ஆதாரங்கள் உள்ளன.

5. பேரண்டத்தைப் பகுத்தாய்தல்
(Carving out the Universe)

நாம் தொலைநோக்கி காட்டும் அளவு வானவெளியைப்பற்றி ஆராய்ந்து அறிந்ததல்லாமல், மிகச்சிறிய அமைப்புடைய அணுக்கள் இவைகளின் சிக்கலான தன்மைகளைப்பற்றியும் தெளிவுபெற்றோம். இவைகளைவிட இன்னும் சிறியவைகளான மின்னூட்ட துகள்கள் களான (charged particles) மின் அணுக்கள், பாஸிட்ரான்கள் (positrons), புரோட்டான்கள் (protons), நியூட்ரான்கள் (neutrons), இன்னும் இதரவகைகளைச் சேர்ந்த பொருள்களினுல் ஆன ஒரு கூட்டாக அமைந்திருக்கிறது நமது அண்டம். இவைகளுள் பெரும் அளவில் (10^{79} புரோட்டான்கள்) புரோட்டான்களும் இவற்றிற்கு இணை யான மின் அணுக்களும் சேர்ந்து ஒரு தனி அண்டமாக அமைந்து விட்டது என்று எடிங்க்டன் கணக்கிட்டுச் சொல்லியிருக்கிறர். இவைகள் வகைபடுத்தப்படாத பொருள்களாக இல்லாமல், விண்மீன்கள், நெபுலாக்கள் என்ற குறிப்பிட்ட அமைப்புகளாக இருக்கின்றன. இந்த மாதிரியான அமைப்புகள் ஏன் இருக்கவேண்டும் என்று நாம் கேட்டுக் கொள்வது இயல்பாகும்.

வானவெளி காலியாக இருக்கின்றது என்பதையும், அதில் உள்ள பொருள்கள் (விண்மீன்கள், நெபுலாக்கள் இவை) வாடர்லூ நிலையத்தில் 6 துகள்கள் இருப்பதற்குச் சமம் என்பதையும் அறிந்தோம். இதை இன்னொருவிதமாகவும் பார்க்கலாம். 6 துகள்களும், ஒவ்வொன்றும் ஓர் ஆயிர மிலியன் மிலியன் அணுக்கூட்டுகள் உடையன என்று வைப்போம். நாம் எடுத்துக்கொள்ளும் இம்மாதிரியான உருவம் (model) காலியாகவே இருக்கும். வானநூலைப்பொறுத்தவரை உண்மையான வானவெளி ஒரு விண்மீனை அலகாக (unit) உடையது. ஒரு சாதாரண விண்மீன் 10^{56} அணுக்கூட்டுகளை உடையது. இது (எண்) பெரியதாக இருப்பதால் இதை நினைத்துப் பார்ப்பது பயனற்றது. வானவெளியின் சூன்யத் தன்மை அதில் அணுக்கூட்டுகளில்லாததனுல் அன்று. இதன் காரணம், மெல்லிய வாயுவெளிகளிடையே (gaseous

clouds) கூட்டணுக்கள், விண்மீன் குடியேற்றமைப்புகளில் (colonies of stars) சேர்ந்து அமைகின்றன. இதில் ஒவ்வொரு விண்மீனுக்கும் 10^{56} உறுப்பினர்கள் (கூட்டணு உறுப்பினர்கள்) உண்டு. இந்தக் கூட்டணுக்கள் ஏன் இவ்வாறு சேரவேண்டும்?

நன்ருகப் பயன்படுத்தப்பட்ட விஞ்ஞான முறையில் (scientific method) இந்தக் கூட்டின் காரணத்தை ஆராய்ந்து அறியலாம். முதலில், எதனுல் இவைகள் சேர்க்கப்பட்டு இவ்வளவு காலம் இருக்கின்றன என்பதை ஆராய்வோம். புவியின் வளிமண்டலம் 10^{44} அணுக் கூட்டுகளை உடையது. இவைகள் ஏன் வானத்தில் பரவியில்லாமல், வளிமண்டலத்தில் இருக்கவேண்டும்? இதற்குக் காரணம் புவியின் ஈர்ப்பு. ஒரு விநாடிக்கு 6·93 மைல்கள் வேகத்துடன் ஒரு துப்பாக்கிக் குண்டு புவியின் மேற்புறத்திலிருந்து சுடப்பட்டால், இது வானவெளிக்குள் மறைந்து சென்றுவிடும். ஏனென்ருல், இந்த வேகத்தில் செல்லும் குண்டைப் புவியின் ஈர்ப்பு ஒன்றும் செய்யமுடியாது. ஆனுல், விநாடிக்கு 6·93 மைல்கள் வேகத்திற்குக் குறைந்த வேகத்தில் குண்டைச் சுட்டால் இது புவியைவிட்டு அகலாது. ஏனென்ருல், ஈர்ப்பு இதைத் தடுத்து விடும். ஆகையினுல் கூட்டணு குண்டுகள் (molecule bullets) விநாடிக்கு 1 மைல் வேகத்தில் செல்வதால் புவியின் வளிமண்டலத்தை விட்டு அகலமுடியாது. புவி இவைகளைச் சேர்த்துப் பிடித்து வளி மண்டலத்தை அமைத்துவிட்டது.

அரியதொரு வாய்ப்பில் ஒரு கூட்டணு மற்ருெரு கூட்டணுவோடு மோதி இதன் வேகம் விநாடிக்கு 6·93 மைல்களுக்கு மேலாக ஆகிவிடும். இப்படி ஆகும் கூட்டணு புவியைவிட்டு அகன்று, தனித்துநிற்கும் கூட்டணுக்களோடு சேர்ந்துவிடும். இம்மாதிரி ஏற்படுவது மிகவும் சிறிய அளவிலேயே இருப்பதால், வளிமண்டலம் எப்பொழுதும் நிரந்தர அளவில் இருப்பதாக வைத்துக்கொள்ளலாம்.

இதேமாதிரிதான் ஞாயிறும். ஞாயிற்றின் வெப்பம் அதன் வளி மண்டலத்தின் கூட்டணுக்களை அணுக்களாகப் பிரித்துவிடுகின்றது. இவை விநாடிக்கு 2 மைல்கள் வேகத்துடன் இயங்கும். ஆனுல், அணு இரவைகள் (atom-bullets) ஞாயிற்றைவிட்டு அகலவேண்டுமானுல் விநாடிக்கு 380 மைல்கள் வீதம் இயங்கவேண்டும். ஆகையினுல், ஞாயிற்றின் அணுக்கள் இதன் வளிமண்டலத்தைவிட்டு அகலா. ஓர் அறையின் வளிக் கூட்டணுக்களை ஒரு கொத்தாகச் சேர்த்து இந்த அறையின் நடுவில் வைத்தால் இந்தக் கூட்டணுக்களால் செய்யப்பட்ட பந்து அதன் ஓரங்களில் இருக்கும் கூட்டணுக்களை ஈர்ப்பால் இழுக்கும். (ஞாயிறு, புவி இவைகளின் வளிமண்டலங்களில் உள்ளதைப்போல்) இந்த வளிப் பந்தின் (ball of air) எடை மிகவும் சிறிதாக இருப்பதனுல், இதன் ஈர்ப்பின் அளவும் மிகவும் சிறிதாக இருக்கும். மணிக்கு

ஒரு கெஜம் வேகத்தில் செல்லும் வெளிப்புற கூட்டணுக்களை இந்தப் பந்திலிருந்து அகற்றிவிடும். ஒரு சாதாரண வளியின் கூட்டணுக்கள் விநாடிக்கு 500 கெஜம் வீதம் செல்லும். ஆகையினால், இம்மாதிரியான பந்து பழையபடி கூட்டணுக்களாக அறை முழுவதும் பரவிவிடும். இவ்வாறில்லாமல் ஞாயிற்றை வைக்கும் அளவில் அந்த அறை பெரிதாக இருந்தால், அப்பொழுது இம்மாதிரி பந்து, ஞாயிற்றில் உள்ளதுபோல், அறையின் நடுவில் இருக்கும். அப்பொழுது வெளிப்புறக் கூட்டணுக்கள் தப்பிக்க விநாடிக்கு 380 மைல்கள் வீதம் இயங்கவேண்டும். ஆகையினால், இவைகளின் விநாடிக்கு 500 கெஜம் வேகம் பயனற்றதாக இருக்கும்.

கோள்களின் வளிமண்டலங்கள் (Planetary Atmospheres)

பொதுவாகத் தப்பிக்கும் வாய்ப்பு, வெளிப்புறக் கூட்டணுக்களின் வேகத்திற்கும் ஈர்ப்பின் அளவிற்கும் உள்ள ஒரு போட்டியாக அமையும். இம்மாதிரியான உதாரணங்கள் பிறகு காண்போம். புவியின் ஈர்ப்பில், சந்திரனுக்கு அதன் வளிமண்டலத்தின் மேல் உள்ள ஈர்ப்பு அளவு, 23-ல் ஒரு பங்காகும். ஆகையினால் சந்திரனின் வளிமண்டலம், முன்பு ஏதாவது இருந்தாலும், இப்பொழுது இருக்காது. இதேமாதிரி புதனுக்கும் (Mercury) ஞாயிற்றின் அருகில் உள்ள மேற்புற வெப்பத்தினால், வளிமண்டலமிருக்காது. செவ்வாய்க்கு (Mars) அதன் கூட்டணுக்களின்மேல் உள்ள கட்டுப்பாடு புவியைப்போல் 5-ல் ஒரு பங்காகும். ஆனால், அதன் மேற்புறம் குளிர்ந்ததாக இருக்கும். கணக்கிட்டுப் பார்த்தால், நீராவியும் கனமான அணுக்களும் அப்படியே தங்கி, இதைவிட இலேசான ஹீலியம், ஹைட்ரஜன் இவைகள் தப்பிப் போய்விடும். இதுதான் நடந்ததாக இருக்கலாம். சனியின் துணைக் கோள்களில் பெரியதும், வியாழனின் இரண்டு துணைக்கோள்களும், சந்திரனைப்போன்ற அளவிற்கு ஈர்ப்புக் கட்டுப்பாடு உடையனவாக (gravitational hold) இருக்கின்றன. ஆனால், சந்திரனைவிட இவைகளின் மேற்புறம் மிகக் குளிர்ந்ததாக இருப்பதால் இவைகளின் வளிமண்டலங்கள் அப்படியே இருக்கும். சில பார்வையாளர்கள் (observers) இதற்கான ஆதாரங்களைக் கண்டறிந்திருக்கின்றனர். நான்கு பெரிய கோள்களும், அவைகளின் வளிமண்டல கூட்டணுக்களின்மேல், புவியைவிட அதிக ஈர்ப்புக் கட்டுப்பாட்டை உடையனவாக இருக்கின்றன. அதனால் இவைகளால் எளிதாகத் தங்களுடைய வளிமண்டலத்தைக் காக்க இயலும். வெள்ளியும், புவியின் அளவு ஈர்ப்புக் கட்டுப்பாட்டை உடையதாக இருந்தாலும், அதன் வளிமண்டலத்தை அப்படியே வைத்திருக்கிறது.

இந்தக் காரணங்கள், விண்மீன்களின் கூட்டணுக்கள் ஏன் சேர்ந்திருக்கவேண்டும் என்பதை விளக்குகின்றன. ஆனால், எப்படிச்

சேர்க்கப்பட்டன என்ற பிரச்சினை மிகவும் கடினமானது. ஒவ்வொரு விண்மீனிலும் ஏன் 10^{56} கூட்டணுக்கள் இருக்கவேண்டும். 10^{54} கூட்டணுக்கள் அல்லது 10^{58} கூட்டணுக்கள் ஏன் இருக்கக்கூடாது?

ஈர்ப்புத் தன்மையின் நிலையற்ற தன்மை (Gravitational Instability)

இப்பொழுது ஒரு விண்மீனைக் கட்டிப்பிடித்து வைத்திருக்கும் விசைகளே இவைகளின் அமைப்பிற்கும் காரணமாக இருக்கலாமோ என்ற கேள்வி எழுவது இயல்பாகும். இஃது ஈர்ப்பின் சேர்க்கும் திறனை ஆராயத் தூண்டுகிறது.

ஈர்ப்பு விதியை (law of gravitation) நியூடன் தெரிவித்து ஐந்து ஆண்டுகள் கழிந்தபிறகு டிரினிடி கல்லூரியின் (Trinity College) ஆசிரியராக இருந்த பென்ட்லி (Bentley) என்பவர் புவியில் உள்ளது போல், விண்மீனின் சேர்க்கைக்கும் இந்த விதி உண்மையானதாக இருக்கலாமோ என்று நியூடனை ஒரு கடிதத்தின்மூலம் கேட்டிருந்தார். 1692ஆம் ஆண்டு டிசம்பர் 10ஆம் தேதி இதற்கு பதிலளித்து எழுதிய போது நியூடன் கூறியதாவது:

ஞாயிறு, கோள்கள் இவைகளின் பொருளும், மற்றும் அண்டத்தில் உள்ள பொருளும் ஒரே அளவில் வானம் முழுவதும் (heaven) பரவி இருப்பதன்றி, ஒவ்வொரு துகளும் மற்றத் துகள்களை ஈர்ப்பினால் இழுக்கும்படியாகவும், வானவெளி முழுவதும் வரையறையுள்ளதாகவும் இருந்தால், அப்பொழுது, வானவெளியின் வெளிப்புறம் உள்ள பொருள்கள், ஈர்ப்புத்தன்மையினால், அதன் உட்புறத்தில் (matter on the inside) உள்ள பொருள்களின் பக்கம் சென்று, ஒரு பெரிய பொருண்மைக் கோளமாக (spherical mass) அமைந்துவிடும். ஆனால், பொருள் முற்றிலும் ஓர் அளவற்ற எல்லையில் (infinite space) பரவி இருந்தால் இஃது ஒரே ஒரு கூட்டாக அமையாமல், பல்வேறு பொருண்மைக் கூட்டுகளாக (mass compositions), ஒன்றிற்கொன்று வெகு தூரத்தில், வானவெளி முழுவதிலுமே தனித்தனியே அமைந்துவிடும். இம்மாதிரி தான் ஞாயிறும் பல விண்மீன்களும் அமைந்திருக்கவேண்டும்.

கணக்கிட்டு ஆராய்ந்தபொழுது, நியூடன் கூறியவைகள் உண்மை என்பதன்றி, ஈர்ப்பினால் ஏற்படும் கூட்டுகளின் (aggregates) அளவுகளையும் அறிய இஃது ஒரு முறையாக அமையும் என்று தெரிகிறது.

சுருக்கலின் அமைப்புமுறை (Formation of Condensation)

நாம் ஓர் அறையின் நடுவில் நின்றுகொண்டு கைகளைத் தட்டுவோம். சாதாரணமாகச் சொன்னால், இதைச் சத்தம் செய்கிறோம் என்று சொல்வோம். இதையே பௌதிகர், தொழில்முறையில் நாம் ஒலி அலைகளை

உண்டாக்குகிறோம் என்று சொல்வார்கள். நம் கைகள் இரண்டும் ஒன்றை ஒன்று அடையும்பொழுது, அவைகளினிடையே உள்ள காற்று மாலிகியூல்களை வெளியேற்றும். இஃது ஒரு மாலிகியூலுடன் இன்னொரு மாலிகியூலை மோதச்செய்து கடைசியாக, நாம் முதலில் ஏற்படுத்திய கலவரத்தை ஓர் அலையாக மாற்றிவிடும். முதலில் மாலிகியூல்களின் வேகம் ஒரு விநாடிக்கு 500 கெஜங்களாக இருந்தாலும், அவைகளின் வளைவான பாதையினால் (zig-zag), அவைகளின் வேகம், நாம் ஏற்கெனவே பார்த்தபடி, விநாடிக்கு 370 கெஜங்களாகக் குறைந்து விடும். ஒலியின் நேர்வேகத்திற்கு (velocity of sound), இந்தக் கலவரம் (disturbance) எந்த இடத்திற்குச் சென்றாலும், அந்த இடத்தில் மாலிகியூல்களின் எண்ணிக்கை மிக அதிகமாகும். ஏனென்றால், நெருக்கித்தள்ளும் மாலிகியூல்கள் (stampeding molecules) அங்கே உள்ள இதர மாலிகியூல்களுடன் சேருவதினாலாகும். இஃது அதிக அமுக்கத்தை உண்டாக்கும். இந்த அமுக்கம் தான் நம் காதின் வழியே சென்று மூளைக்கு ஒரு சத்தமாக எட்டுகிறது.

இந்த அதிக அமுக்கம் வெகுநேரம் நிலைத்திருக்கமுடியாது. ஆகையினால், அதிகப்படியாக இருக்கும் மாலிகியூல்கள் வெகுவிரைவில் அழிந்துவிடவேண்டும். இவ்வாறுதான் அலை செல்லுகிறது. ஆனால், இந்த அழிவை எதிர்க்கும் அளவில் உள்ள காரணம் ஒன்றிருக்கின்றது. ஒவ்வொரு மாலிகியூலும் அதன் பக்கத்திலுள்ள மாலிகியூலின்மேல் ஈர்ப்புக் கட்டுப்பாட்டை உடையதாயிருக்கின்றது. ஆகையினால், எங்கு அதிக மாலிகியூல்கள் உள்ளனவோ, அங்கு அதிக ஈர்ப்பு விசையும் இருக்கும். சாதாரண ஒலி அலையில் இது மிகக்குறைவு. இருந்தாலும், இது மாலிகியூல்களை அவைகளின் விருப்பப்படி பரவ விடாமல் ஒன்றாகக் கட்டிப்பிடிக்கும் ஒரு சிறிய விசையாக அமையும். இதே நிகழ்ச்சி வெகு அதிக அளவில் (வானத்தில் ஏற்படுவதுபோல்) ஏற்பட்டால், இதற்கேற்ற விசைகள் மிகவும் கவனிக்கப்படவேண்டியவைகளாக இருக்கும்.

சுற்றியுள்ள இடத்தைக்காட்டிலும் சராசரி அளவில் அதிக மாலிகியூல்களை உடைய வாயுவை எடுத்துக்கொள்வோம். இதை ஒரு 'சுருங்கல்' (condensation) என்று சொல்வோம். சுருங்கல் போதிய அளவு இருந்தால், அதிகப்படி இருக்கும் ஈர்ப்பு விசை பரவலை முற்றிலும் தடுத்துவிடும். அப்பொழுது இந்தச் சுருங்கல், மாலிகியூல்களை வெளிப்புறத்திலிருந்து உட்புறம் இழுப்பதன்மூலம், வளர்ந்து கொண்டேபோகும். இந்த மாலிகியூல்களின் வேகம், மாலிகியூல்களைப் பிரிந்துபோகாவண்ணம் செய்துவிடும்.

இது நடப்பது, வாயுவின் மாலிகியூல்களின் வேகத்தைப் பொறுத்திருக்கிறது; சுருங்கலின் அளவையும் பொறுத்திருக்கிறது. இந்தச்

சுருங்கல் எவ்வளவு அளவிற்கு ஏற்பட்டிருக்கிறது என்பதைப் பொறுத்த தன்று. சுருங்கலின் அளவை இரட்டிப்பாக்கினால், அதிகப்படி உள்ள மாலிகியூல்களின் அளவும் இரட்டிப்பாகும். அப்பொழுது, சுருங்கலை அதிகரிக்கும் ஈர்ப்பு இழுப்பும் (gravitational pull) இரட்டிப்படையும். இதேசமயம், இதை அழிக்கும் அழுக்கமும் இரட்டிப்பாகும்; அதாவது ஒரு தராசின் இரண்டு தட்டுகளிலும் உள்ள எடைகளையும் இரட்டிப்பாக்கினால், அது, முதலில் எந்தப் பக்கம் சாய்ந் திருந்ததோ அதே பக்கம்தான் இப்பொழுதும் சாய்ந்திருக்கும்; மேற் கூறியதும் இதேபோல்தான். சுருங்கலுக்குத் தகுந்த சூழ்நிலை அமைந்துவிட்டதும் இது கவர்வதற்கு ஒரு மாலிகியூலும் இல்லாத வரை நடந்துகொண்டே இருக்கும். மற்ற நிலைகளெல்லாம் ஒரே அளவில் இருக்க இரண்டு மிலியன் மைல்கள் விட்டத்தை உடைய ஒரு சுருங்கல், ஒரு மிலியன் மைல் விட்டத்தை உடைய ஒரு சுருங்கலைவிட இரண்டு மடங்கு ஈர்ப்புவிசையைக்கொண்டு அதன் வெளிப்புற மாலி கியூல்களை இழுக்கும். அழுக்கத்தின் மிகைவு இரண்டிலும் ஒன்றுகத் தான் இருக்கும். ஆகையினால், சுருங்கல் அதிகமானால், அது வளர் வதற்கும் வாய்ப்பு அதிகம். இதை மனத்தினால் நினைத்துக்கொண்டே போகும்பொழுது, அதன் பரிமாணம் அதிகமாகி அது வளர்வது நிச்சயமாகும். இயற்கையின் விதி, இதைப்பொறுத்தவரை, ஒரு கட்டுப்பாடில்லாத போட்டியாக அமைந்திருக்கின்றது. ஆகையினால், மிகவும் அதிகமாக இருக்கும் சுருங்கல் வளர்ந்துகொண்டே போகும். ஆனால், குறைவாக இருப்பது வளராமல் தேய்ந்து மறையும்.

மிக அதிகப் பொருண்மையை உடைய வாயு பல மிலியன் மைல்க ளளவில் வானவெளி முழுவதுமே ஒரே சீராகப் (uniform) பரவி இருப்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். இந்த நிலையை மாற்ற நினைத் தால், நாம் நினைக்கக்கூடிய அளவுகளை உடைய சுருங்கல் ஏற்பட்டு விடும். இது முதலில் விளங்காது. ஒரு சிறிய பகுதி கலைக்கப் பட்டால், ஒரு சிறிய அளவு சுருங்கலே ஏற்படும் என்று நாம் நினைக் கலாம். இந்த வாதம் ஒரு சிறிய பொருளின் ஈர்ப்புவிசை அண்டம் முழுவதும் எப்படி நடந்துகொள்ளும் என்ற உண்மையைப் புறக் கணித்துவிடுகிறது. சந்திரன், வெகுதூரத்தில் உள்ள புவியின் மேலும், குறைந்த அளவில் வெகுதூரத்தில் உள்ள விண்மீனின் மேலும் அலைகளை (tide) எழுப்புகிறது. ஒரு குழந்தை, தன் வண்டியிலிருந்து (baby carriage) ஒரு விளையாட்டுச் சாமானை வெளியே எறியும் பொழுது, அண்டத்தில் உள்ள ஒவ்வொரு விண்மீனின் இயக்கத்தையும் கலவரப்படுத்துகிறது. ஈர்ப்பு விசை இருக்கும்பொழுது மேற்கூறிய கலவரம் அண்டம் முழுவதும் பரவிவிடும். இந்தக் கலவரம் எவ்வளவு கடுமையாக இருக்கின்றதோ அவ்வளவு கடுமையாகச் சுருங்கல் ஆரம் பித்துவிடும். ஆனால், மிகச் சிறிய கலவரங்களும் சுருங்கலை ஏற்படுத்தி

விடும். ஆனால், இது மிக மெல்லியதாயிருக்கும். ஏனென்றால், ஒரு சுருங்கலின் போக்கு (fate) அதன் அளவைப்பொறுத்துதான் இருக்கும் என்றும், அதன் தன்மையைப்பொறுத்தன்று என்பதையும் ஏற்கெனவே பார்த்தோம். சுருங்கல் எவ்வளவு வலுவற்றதாக இருந்தாலும், பெரியதாக இருந்தால் இது வளர்ந்துகொண்டே போகும். கடைசியில், பெரிய சுருங்கல்களே நிற்கும்; சிறியவைகளல்ல. கணக்குப்படி, ஒரு குறிப்பிட்ட எடைக்குக் கீழான எடையுள்ள சுருங்கல்கள் மறைந்துவிடும். இந்தக் குறைந்த எடை (minimum weight) எப்படியென்றால், இதில் ஏறக்குறைய 10-ல் ஒரு பாகத்தை எடுத்து ஒதுக்கி விட்டு மீதி பாகத்தை அழித்துவிட்டால், எஞ்சிய பாகத்தில் உள்ள மாலிகியூல்கள் மேற்புறத்திலிருந்து தப்பித்துக்கொள்ள முடியாத குறிப்பிட்ட நிலையில் இருக்கும்.[1]

முதலில் சீராகப் பரவப்பட்ட பொருண்மையுடைய வாயு 'உறுதியற்றது' (unstable) என்று சொல்லலாம். ஏனென்றால், ஒரு சிறிய கலவரம் அதன் அமைப்பையே மாற்றிவிடுகிறது; அதன் முனையில் தாங்கிநிற்கும் கழியைப்போல், அல்லது உடைந்துபோகும் அளவில் இருக்கும் ஒரு சோப் குமிழியைப் (soap bubble) போல்.

தொடக்கக் குழப்பம் (Primaeval Chaos)

இந்தக் கோட்பாட்டு உண்மைகளை எந்தப் பொருண்மையை உடைய வாயுவிற்கும் பயன்படுத்திக்கொள்ளலாம். இதை நியூடனின் ஊகக்கோட்பாடான (hypothetical) (பக்கம் 242) 'பொருள், வரையற்ற வானவெளி முழுவதும் சீராகப் பரவி இருக்கிறது' என்பதற்குச் சரியாக அமைந்திருக்கிறதா என்று பார்ப்போம். இப்பொழுதுள்ள விண்மீன்களின் பொருளும், நெபுலாக்களின் பொருளும் சீராக வானவெளி முழுவதும் பரவி இருந்த காலத்திற்குச் செல்வோம். அதாவது, அண்டத்தின் அமைப்பைப்பற்றிய உண்மைகளை

[1] இஃது ஏறக்குறைய சரியானது. கணக்கீடு முறைப்படி 'குறைந்த சுருங்கலின்' (minimum condensation) எடை $M=(\frac{1}{3}\pi\kappa)^{\frac{3}{2}}\frac{C^3}{\gamma^{\frac{3}{2}}\rho^{\frac{1}{2}}}$ என்ற வாய்பாட்டின்படி அமையும். M, C, γ, ρ, κ இவைகள் முறையே சுருங்கலின் அளவையும், மாலிகியூலின் நேர்வேகத்தையும், ஈர்ப்பு எண்ணையும், முதல் அடர்த்தியையும், வெப்ப எண் விகிதத்தையும் (ratio of specific heat) குறிக்கும். நேர்வேகம் C யாக உள்ள ஒரு தப்பித்துக்கொள்ள முடியாத மாலிகியூலின் எடையை M என்று வைத்தால், அப்பொழுது கிடைக்கும் வாய்பாடு $M=\frac{3}{4\pi}\frac{C^3}{\gamma^{\frac{3}{2}}\rho^{\frac{1}{2}}}$ என்பதாகும். $\kappa=1\frac{2}{3}$ என்று வைத்தால், சுருங்கலுக்கு வேண்டிய குறைந்த எடை, மாலிகியூல்களைத் தப்பாமல் ஒன்றுக வைப்பதற்கு வேண்டிய அவைகளின் (மாலிகியூல்களின்) எடையைப்போல் 9·7 மடங்காகும்.

அறிவதற்கு அடிப்படையாக உள்ள தொடக்கக் குழப்ப காலத்திற்குச் செல்வோம். இப்பொழுதுள்ள அண்டத்தின் பொருள்களெல்லாம் நெபுலாக்கள், விண்மீண்கள், மற்றும் தனியாக உள்ள பொருள்கள் சீராக வானத்தில் பரவியிருந்தால், அப்பொழுது ஒரு கன சென்டி மீட்டருக்கு 10^{-28} கிராம்கள் அளவுடைய பொருள்கள் (matter) இருக்கும் என்று ஏற்கெனவே பார்த்தோம். ஆகையினுல், தொடக்க நெபுலாவிற்கு (primaeval nebula) இந்த அளவுக் கோட்பாட்டு அடர்த்தியை வைத்துக்கொள்ளவேண்டும். இது கிட்டத்தட்ட நம்பத்தகாத அளவிற்குச் சிறியதாயிருக்கிறது. நீரின் அடர்த்தியில் 800-ல் ஒரு பங்கு அடர்த்தியை உடைய வளியின் அடுத்துள்ள இரண்டு மாலிகியூல்களின் இடையே உள்ள சராசரி தூரம் ஓர் அங்குலத்தில் எட்டு மிலியன் பங்கில் ஒரு பங்காகும். இப்பொழுது நாம் எடுத்துக்கொண்டுள்ள தொடக்க வாயுவில் (primaeval gas) இந்தத் தூரம் ஒரு கெஜமாகும். நம் வளிமண்டலத்தில், ஒரு குண்டூசித்தலை அளவு இடத்தில் பரவியிருக்கும் வளியை மேற்கூறிய அடர்த்திக்குச் சரியாக அமைத்தால், இஃது ஒரு நூறு மிலியன் மைல்கள்—460 மைல்களைப் பக்கமாக உடைய ஒரு கன சதுரம் (cube)—அளவுடைய இடத்தில் பரவியிருக்கும். இதற்கு எதிரானது, வானவெளி ஒன்றுமில்லாத காலியான ஓர் இடம் என்ற கோட்பாட்டிற்குச் சரியாக அமைந்துவிடும்.

ஆனுல், அண்டம் வெகு விரைவாக விரிந்துகொண்டே இருக்கின்றதென்றும், இதனுல், இதனுள் உள்ள பொருளின் சராசரி அடர்த்தி மாறிக்கொண்டேயிருக்கிறது என்பதையும் நாம் மறக்கக்கூடாது. தொடக்கக் குழப்பத்தில் சராசரி அடர்த்தி இப்பொழுதுள்ளதைவிடக் குறைவாகவோ அதிகமாகவோ இருந்திருக்கலாம். இது வானவெளியின் கனபரிமாணம் இவ்வளவு காலத்தில் முன்னைவிட அதிகமாயிருக்கின்றதா அல்லது குறைந்திருக்கின்றதா என்பதைப் பொறுத்தது. ஃபிரீட்மான்-லெமய்த்திரி (Friedmann-Lemaitre) 'காஸ்மாலஜி'யை வைத்து, எடிங்க்டன் என்பவர், முதலில் இருந்த ஐன்ஸ்டைன் வெளியில் பொருளின் சராசரி அடர்த்தி 10^{-27}ஆக இருக்கவேண்டும் என்று கணக்கிட்டுச் சொல்லியிருக்கிருர்.

இந்த அடர்த்தியுள்ள தொடக்க வாயுவில் சுருங்கலின் குறைந்த பட்ச எடை எவ்வளவாக இருக்கவேண்டும் என்பதை இனி ஆராய்வோம்.

கணக்கீட்டு முறையில், சாதாரண வளி 10^{-28} என்ற அடர்த்திக்குக் குறைக்கப்பட்டால், அதாவது அதன் மாலிகியூல்கள் ஒன்றிற்கொன்று ஒரு கெஜ தூரத்தில் அமைந்தபொழுது—ஞாயிற்றைப் போன்று 640,000 மடங்கு பொருண்மையை உடையதாக இருந்தாலன்றி சுருங்கல் தங்கி, மேலும் வளராது என்று அறிகிறோம். இதைவிடக்

குறைந்த பொருண்மையை உடைய வாயு, மிகக்குறைந்த ஈர்ப்பு விசையையுடையதாக இருக்கும். இதனால் இதன் வெளிப்புற மாலிகியூல்கள் விநாடிக்கு 500 கெஜம் வேகமுடையவைகளாகயிருக்கும். ஆகையினால் சுருங்கலே அழிந்துவிடும்.

இம்மாதிரியான வாயு வானம் முழுவதும் சீராகப் பரவி இருந்தால், இதை எந்தவிதத்திலாவது கலைக்க முயலும்பொழுது, 640,000 ஞாயிறுகளைவிடக் குறைந்த பொருண்மையுடைய தொடக்கச் சுருங்கல்களாக (incipient condensations) இருப்பவை சமமாக்கப்பட்டு, ஞாயிற்றைவிட 640,000 மடங்கு பொருண்மையை உடைய பெரிய சுருங்கல்களாக மாறிவிடும்.

இந்தமாதிரி கணக்குகளை, நாம் நினைக்கும் அளவிற்கு உள்ள நேர்வேகத்தை உடைய மாலிகியூல்களுக்கும் செய்து பார்க்கலாம். கீழே கொடுக்கப்பட்ட அட்டவணையில், 10^{-28} அடர்த்தியுள்ள குழப்ப வாயுக்களின் தொடக்கப் பொருண்மைகளில் ஏற்படும் சுருங்கல்களின் எடைகள் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இந்த மாலிகியூல்களின் வேகம் பலவாறு இருக்கலாம்.

வேகம் (விநாடிக்கு இவ்வளவு கெஜம்)	எங்கே உள்ளன என்பது	சுருங்கலின் குறைந்தபட்ச எடை
500	அறையின் வளி	640,000 ஞாயிறுகள்
2,000	0°-யில் உள்ள ஹைட்ரஜன்	40 மிலியன் ஞாயிறுகள்
27,000	?	100,000 ,,
120,000	0° உள்ள மின் அணு	9,000,000 ,,

கன சென்டிமீட்டருக்கு 10^{-27} கிராம் அடர்த்தியுள்ளவைகளுக்கு இதே கணக்குமுறையில் பார்த்தால், பொருண்மைகள் மேலே கொடுக்கப்பட்ட அளவுகளில் 3-ல் ஒரு பங்குதான் உள்ளன.

நமக்குத் தெரிந்த விண்மீன்களெல்லாம் ஞாயிற்றினுடன் ஒப்பிடக் கூடிய பொருண்மைகளை உடையன ஆகையினால், நியூடனால் யூகிக்கப் பட்டதுபோல் விண்மீன்களெல்லாம் இம்மாதிரியான சுருங்கல்களினால் ஏற்பட்டவைகளானால், மேலே கொடுக்கப்பட்ட அட்டவணையில் உள்ள பதிவுகள் ஒன்றிற்கு ஒத்தவைகளாக இருக்கவேண்டும் (comparable with unity). நியூடனின் யூகம் நாம் எடுத்துக்கொண்ட முறையில் சரியானதன்று. ஏனென்றால், நமக்குக் கிடைத்த எடைகளின் அளவுகள் ஞாயிற்றைவிடப் பல மிலியன் மடங்குகளாக உள்ளன. நாம் எடுத்துக்கொண்டது போன்ற தொடக்கக் குழப்பம் ஒன்று இருந்தால்,

அது விண்மீன்களாகச் சுருங்காது. இதைவிட அதிகப் பொருண்மையை யுடைய சுருங்கல்களாக, பல மிலியன் விண்மீன்களின் எடையுள்ளதாக இருக்கும்.

பெரும் நெபுலாக்களின் பிறப்பு
(Birth of the Great Nebulae)

நாம் இப்பொழுது கணக்கிட்டுள்ள எடைகளை உடைய பொருள்கள் வானவெளியில் உள்ளன என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. உதாரணமாக, பேரண்ட நெபுலாக்கள் (extra-galactic nebulae); இவைகளின் பொருண்மை 100,000 மிலியன் ஞாயிறுகளுக்குச் சமம்.

ஆகையினால், நாம் அட்டவணையில் குறித்த அளவில் பொருண்மைகளை உடைய பொருள்களுக்கு இந்தப் பெரிய நெபுலாக்களைத்தான் எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும். நெபுலாக்களின் பொதுப்படையான பொருண்மைகளைப்பற்றி ஆராயும்பொழுது, இவைகளின் சுருங்கல், தொடக்க நெபுலாக்களிலிருந்து பேரண்ட நெபுலாக்களாகத்தான் இருக்கவேண்டும், விண்மீன்கள் மட்டும் அல்ல என்று தோன்றுகிறது. இது, பெரிய நெபுலாக்கள் எப்படி ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்பது பற்றிய காரணத்திற்கு ஓர் ஊகமாகத்தான் இருக்கும். ஏனென்றால், தொடக்க நெபுலாக்கள் இருந்தனவா என்பதே நமக்குத் தெரியாது. இதுதான் இப்பொழுதுள்ள நெபுலாக்கள் இருப்பதற்குத் தகுந்த எடுகோளாக இருக்கின்றது. இவைகளெல்லாம் (நெபுலாக்கள் எல்லாம்) பொதுவாக ஒரேமாதிரியாக இருப்பதனுல், இவை ஒரே நிமித்த காரணமாக (agency) ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும். இந்தக் காரணங்களில் நாம் கூறியது, (தொடக்க நெபுலாக்களின் இருப்பை ஆதாரமாக வைத்து) சரியானதாக இருக்கின்றது.

நெபுலாக்கள் இந்த முறையில் அமைந்தால், இவைகளில் உள்ள மாலிகியூல்கள் அதிக வேகத்துடன் இயங்கியிருக்கவேண்டும்—விநாடிக்கு 27,000 கெஜம் அளவில் அல்லது வளியின் மாலிகியூல்களின் வேகத்தைப்போல் 50 மடங்கிற்கும் மேலாக. வளியின் மாலிகியூல்கள் இவ்வளவு வேகத்தை அடையாது. ஏனென்றால், விநாடிக்கு 27,000 கெஜம் வேகத்தை அடைவதற்குள் இந்த மாலிகியூல்கள் அணுக்களாகப் பிரிந்து, இந்த அணுக்களும் பிரிந்து ஒருசில வெளிப்புற மின் அணுக்களை வெளிப்படுத்திவிடும்.

நெபுலாக்களைத் தொடக்கக் (ஊழ்நிலை) குழப்பத்தின் சுருங்கல்களாக நினைத்தால், இது முழு மாலிகியூல்களினுலோ, அல்லது முழு அணுக்களினுலோ ஏற்பட்டது என்று நினைக்க முடியாது. இது தளர்ந்திருக்கும் மின் அணுக்கள், அணுக்கள், ஒருகால் முழு

மாலிகியூல்கள், இவைகளினுல்தான் ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும். இந்த மாதிரியான தொடக்கக் (ஊழ்நிலை) குழப்பத்திலிருந்து, நெபுலாக்கள் ஈர்ப்புச் சுருங்கல்களாக ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்று நியூடன் நினைத்ததுபோலவே எளிதாக நினைக்கலாம். ஊழ்நிலைப்பொருளின் வெப்பநிலை வெகு அதிகமாக இருக்கவேண்டாம். சாதாரணமான அறை வெப்பநிலையில்கூட மின் அணுக்களின் சராசரி வேகம் ஒரு விநாடிக்கு 120,000 கெஜங்களாகும். ஆகையினுல், ஒருசில மின் அணுக்களே இருந்தால்கூட அந்தக் கலவையின் சராசரி வேகத்தை மிகவும் அதிகப்படுத்திவிடும். இதனுல் தேவையான விநாடிக்கு 27,000 கெஜங்கள் அளவில் உள்ள சராசரி வேகம் சாதாரண கலவையிலேயே கிடைத்துவிடும். பெரிய நெபுலாக்கள், நிச்சயமாக ஒரேமாதிரியில்லை. இவைகளின் மாறுபட்ட அமைப்பைப்பற்றி ஆராய்வதே நமது அடுத்த பொறுப்பாகும்.

ஊழ்நிலை வாயு நெபுலாக்களில் சுருங்கல் ஏற்பட்டு இது மறுபடியும் ஒழுங்கான முறையில் சுருங்கினுல் கடைசியாகக் கிடைக்கும் விளை பொருள் (Product) ஒழுங்கான முறையில் தனித்தனியே ஒரேமாதிரியாக அமைந்திருக்கும் வாயுப் பொருண்மை வரிசைகளாகும். ஆனுல், இயற்கை இவ்வளவு ஒழுங்கான முறையில் நடந்துகொள்வதை நாம் பார்ப்பது அரிது. இந்த நெபுலாக்கள் எடைகளில் சமமாக இல்லாமல், ஒழுங்காக அமைக்கப்படாமல் இருந்தால், இதைப்பற்றி நாம் வியப்படையவேண்டியதில்லை. ஊழ்நிலை வாயுநிலையில் முதலில் ஏற்பட்ட சுருங்கல் மீண்டும் சுருங்கும்பொழுது, ஓட்டங்களை (currents) ஏற்படுத்தியிருக்கவேண்டும். இவை செவ்வொழுங்காக (symmetrical) இருக்கமுடியாது. ஒவ்வொரு சுருங்கும் வாயுப் பொருண்மையின் இயக்கமும் அதன் மையத்தின் திசையில் இருந்தால், கடைசியில் ஏற்படுவது ஒரு கோள நெபுலாவாகத்தான் இருக்கும். இஃது அசைவற்று இருக்கும். இதைவிடக் குறைந்த செவ்வொழுங்கான ஓட்டங்கள் சுருங்கும் பொருண்மைக்குச் சுழற்சியைக் (spin) கொடுக்கும். இது முதலில் குறைவாக இருக்கும். ஆனுல், இது 'கோண இயக்க விசையின் சேமிப்பு' (conservation of angular momentum) விதிப்படி சுருங்கச் சுருங்க அதிகமாகிக்கொண்டே போகும். ஆகையினுல், கடைசியில், பலவித வேகங்களில் தனித்தனியாகச் சுழன்றுகொண்டிருக்கும் வாயுப்பொருண்மைகளாக அமையும்.

சுழன்றுகொண்டிருக்கும் வாயுப் பொருண்மைகள்

இனி பெரிய நெபுலாக்கள் சுழன்றுகொண்டிருக்கும் வாயுப் பொருள்களாக இரா. இவைகளைச் சுழன்றுகொண்டிருக்கும் விண்மீன் கொத்துகளென்று (cluster of stars) சொல்லலாம். ஆனுல், மேலே கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் ஆராய்ச்சி உண்மைகள், இவைகள்

முதன்முதலில் சுழன்றுகொண்டிருக்கும் வாயுப் பொருண்மைகளாக இருந்து, நாளடைவில் நம் அண்டத் தொகுதியிலும், பேரண்ட நெபுலாக்களிலும் காண்பதுபோன்ற விண்மீன் கொத்துகளாக மாறியிருக்கவேண்டும் என்று நினைக்கும்படி செய்கின்றன. உட்புற இயக்கமின்றி (internal movement), சுழற்சியுமின்றி இருக்கும் ஒரு வாயுப் பொருண்மை அதன் ஈர்ப்பு விசையின் காரணமாக ஒரு நிறைவான கோளமாக அமையும். இஃது ஒரு பெரிய வாயுப் பந்தாக இருக்கும். இதன் அடர்த்தி, அதிக அமுக்கம் உடைய நடுப்புறத்திற்குப் போகப் போக அதிகரித்துக்கொண்டே போகும். ஆனால், சுற்றிக்கொண்டிருக்கும் வாயுப் பொருண்மைகள் பல உருவங்களில் அமையும். அதன் (சரியான) உருவம் அதன் சுழற்சியின் அளவைப்பொறுத்திருக்கிறது. இந்த உருவங்களைக் கணக்கீட்டுமுறையில் அறியலாம். இவ்வாறு அறியப்பட்ட நெபுலாக்களின் உருவ அமைப்பு ஏறக்குறைய நேரில் நுண்காட்சியின்மூலம் கண்டறிந்த உருவ அமைப்பைப்போல் இருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது. நெபுலாக்களைக் கண்டறியும்பொழுதே, சுற்றிக்கொண்டிருக்கும் வாயுப் பொருண்மைகளான அவைகளின் உருவத்தையும் கணக்கிட்டுச் சொல்லிவிடலாம்.

சுழற்சியைப்பொறுத்தில்லாத கோள வடிவத்தைப்பற்றி முதலில் ஆராய்வோம். ஒரு கோள வடிவமுள்ள நெபுலா, வானத்தில் ஒரு வெளிச்சமான வட்டமாகக் காணப்படும். இதனால் வட்டமாகக் காணப்படும் நெபுலாக்கள் எல்லாம் கோள வடிவமானவை என்று சொல்ல முடியாது. நம் கண்ணுக்கு நேராக (சரியாக) ஒரு சுவரின்மேல் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் சாப்பாட்டுத் தட்டு பார்ப்பதற்கு வட்டமாகக் காணப்பட்டாலும், உண்மையில் கோள வடிவமானதன்று. அநேக நெபுலாக்கள் நம் கண்ணிற்கு வட்டவடிவமாகத் தென்படுகின்றன. இவைகளில் சிலவாகிலும் கோள வடிவத்தில்தான் இருக்கவேண்டும். இவைகளெல்லாமே கோளமாக இல்லாவிட்டால், இவைகளுள் ஏதாவது ஒன்று வட்டவடிவமாகத் தோன்றுவது அரிதாகும். ஓர் எளிய புள்ளியியல் கணக்கீட்டின்படி, வட்டவடிவமாகக் காணப்படும் நெபுலாக்களின் எண்ணிக்கை மிக அதிகமாக (இந்த விளக்கத்தைப் பொறுத்தவரை) இருக்கின்றன. வட்ட வடிவத்தை உடைய மாதிரி நெபுலா (typical nebula) ஒளிப்படம் XXVIII-ல், முதல் படத்தில் (fig. 1) கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றது.

குறைந்த சுழற்சியை உடைய ஒரு வாயுப் பொருண்மையின் வடிவம் சிறிது தட்டையாக்கப்பட்ட எலிப்ஸாயிடாக (flattened ellipsoid)—புவியைப்போன்று அல்லது வியாழனைப்போன்று ஆரஞ்சு வடிவத்தில் அமையும். இந்த வடிவத்திலுள்ள நெபுலாக்கள் அதிக அளவில் காணப்படுகின்றன. மேற்கூறிய ஒளிப்படத்தில் இரண்டாவது படம் (fig. 2) இதைக் காட்டுகின்றது.

Mt Wilson Observatory

கேன்ஸ் விருடிஸியில் ‘சுழல்’ நெபுலா *M* 51

ஒளிப்படம் XXVIII

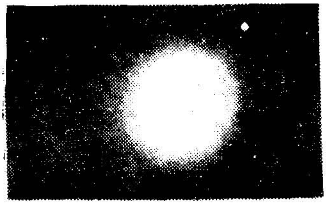


Fig. 1
N.G.C. 3379

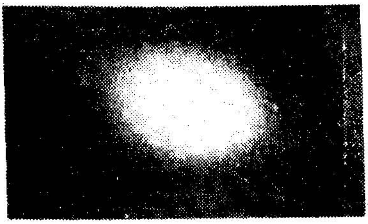


Fig. 2
N.G.C. 4621

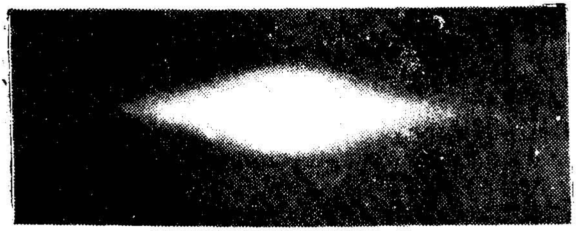


Fig. 3
N.G.C. 3115

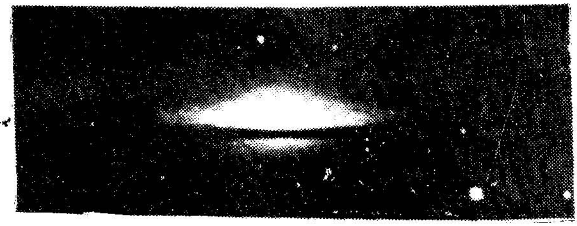


Fig. 4
N.G.C. 4594
in Virgo

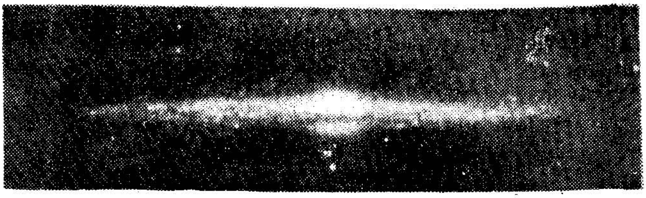


Fig. 5
N.G.C. 4565
in Berenice's
hair

Mt Wilson Observatory

நெபுலாத் தோற்றங்களின் வரிசை

அதிக அளவு சுழற்சியேற்பட்டால், இந்த வடிவம் இன்னும் தட்டையாக ஆகிவிடும். ஊகக்கோட்பாட்டுக் கணக்கீட்டுப்படி இந்த ஆரஞ்சு வடிவம் மாறிவிடும். மத்தியரேகை (equator) பருத்து, கூர்மையான முனைகளை உடைய ஓர் இரட்டைக் குவிலென்ஸ் (double convex lens) வடிவத்தில் அமைந்துவிடும். இந்த வடிவத்தையுடைய நெபுலாக்கள் வானத்தில் அதிக அளவில் காணப்படுகின்றன. உதாரணமாக ஒளிப்படம் XXVIII-ல் உள்ள மூன்றும் படம் (fig. 3) இந்த வடிவத்தில் காணப்பட்டும் நெபுலாவைக் காட்டுகிறது.

இதற்கு அடுத்தது வியப்புடையது. மேலும் அதிகமான சுழற்சி மேலும் அதிக அளவு தட்டையாக்குவதில்லை. இதுவரை, சுழற்சி அதிகமானல் மத்தியரேகை பருக்கும் என்று பார்த்தோம். இது மேற்கூறியபடி கூர்மையான முனைகளையுடைய வடிவத்தில் (எவ்வளவிற்கு முடியுமோ அவ்வளவு) அமைந்துவிட்டது. ஊகக்கோட்பாட்டின் படி, இனி மத்தியரேகையின் கூர்மையான முனைகளின் வழியே, வாயுவின் பொருண்மை வெளிப்பட்டு மத்திய மட்டதளம் (equatorial plane) முழுவதும் பரவிவிடும் என்று அறிவோம். இங்கேயும் கண்டறிந்த உண்மை, கோட்பாட்டிற்கு உடன்பட்டு இருக்கின்றது. ஒளிப்படம் XXVIII-ல் உள்ள படங்கள் 4-ம், 5-ம் நேராகப் பார்க்கப்பட்ட விர்கோவில் (Virgo) உள்ள நெபுலா என்.ஜி.ஸி. 4594-ஐக் காண்பிக்கின்றன. இதைப்பற்றி ஏற்கெனவே (பக்கம் 79) நாம் பார்த்தோம். மத்திய மட்டதளத்தில் மெல்லியதாகப் பரவி இருக்கும் வாயு, ஒரு வகையில், ‘சீராக வரையற்ற வானவெளி முழுவதும் பரப்பப்பட்ட பொருளை’ப்போல் உள்ளது. நியூடன் விண்மீன்களின் பிறப்பைப்பற்றிக் கூறும்பொழுது மேற்கூறியவாறு யூகித்திருப்பது நமக்குத் தெரிந்ததே. மேற்கூறிய வாயுவைப் பலவிதத்தில் கலக்க முயலலாம். இந்த முயற்சியில் எவ்வளவு சிறிய கலக்கமாக இருந்தாலும் அது வரிசையான சுருங்கல்களை ஏற்படுத்திவிடும். முன்கூறியபடியே, ஓரளவிற்குக் குறைந்த சுருங்கல்கள் மறைந்துவிடும். அந்த அளவிற்கு மேற்பட்ட சுருங்கல்கள், மத்திய மட்டதளத்தில் உள்ள வாயு எல்லாவற்றையும் உறிஞ்சும்வரை வளர்ந்துகொண்டே போகும். மறுபடியும், ஊகக்கோட்பாடான ஊழ்நிலைக் குழப்பத்தைப்போல், நிரந்தரமான சுருங்கல்களுக்கு வேண்டிய குறைந்த உருவ அளவைக் கணக்கிட்டு அறியலாம். இந்த உண்மைகளும் குறிப்பிடத்தக்கன.

ஞாயிற்றிலிருந்து 16 ஒளியாண்டுகள் தூரத்திற்குள் 40 விண்மீன்கள் இருக்கின்றன என்று ஏற்கெனவே அறிந்தோம். இவைகள் ஞாயிற்றைவிடச் சிறியனவாகவும், குறைந்த பொருண்மைகளை உடையனவாகவும் இருக்கின்றன. இவைகளின் சராசரிப் பொருண்மை ஞாயிற்றினுடையதில் பாதியாகும். ஞாயிற்றிலிருந்து 16 ஒளியாண்டு தூரத்திற்குள் 20 ஞாயிறுகளின் மொத்தப் பொருண்மை அளவுடைய

பொருளிருந்தால் அப்பொழுது ஞாயிற்றின் அண்மையில் சராசரி அடர்த்தி 3×10^{-24} ஆகும். அண்டத்தின் நடுப்புறத்தில் இந்த அடர்த்தி இன்னும் அதிகமாகத்தான் இருக்கும்.

நன்கு உறுதிப்படுத்தப்பட்ட ஒரு விவரம், அண்டத்தில் ஞாயிற்றின் சுழற்சிப்போழ்து (rotation-period) 250 மில்லியன் ஆண்டுகளாகும் என்பது. இதிலிருந்து ஞாயிற்றின் சுற்றுப் பாதைக்குள் அடங்கி இருக்கும் பொருளின் சராசரி அடர்த்தி 3×10^{-23} என்ற அளவில் இருக்கும் என்று கணக்கிட்டுவிடலாம். இது ஞாயிற்றின் அண்மையில் உள்ள பொருளின் அடர்த்தியைப்போல் பத்து மடங்காகும். இதில் முதன்மையான ஐயப்பாடு, சுற்றுப்பாதையினுள் விண்மீன்கள் எப்படிப் பரவி இருக்கின்றன என்பதே. நெபுலாக்களின் சுழற்சிப்போழ்து எவ்வளவு என்ற விவரம் தெரிந்தால், இவைகளுக்கும் மேற்கூறிய கணக்குமுறையைப் பயன்படுத்தலாம். உதாரணமாக, ஆண்ட்ரோமீடா நெபுலாவின் (Andromeda nebula) நடுப்புற அடர்த்தி 5×10^{-21} என்ற அளவில் இருக்கின்றது என்பதை அறிவோம். மற்ற நெபுலாக்களுக்கும் இந்தமாதிரியான முடிவுகளைக் காணுவோம்.

இந்த எண்ணிக்கைகளை (ஆதாரமாக) வைத்து, ஊழ்நிலை வாயு நெபுலாக்களின் மத்திய மட்டதளப் பொருளின் அடர்த்தி ஒருவேளை 10^{-22} என்ற அளவில் இருக்கலாம் என்று கணக்கிட்டு அறியலாம். இந்தமாதிரி குறைந்த அடர்த்தியுள்ள வாயுவில் ஏற்படும் சிறிய சுருங்கல்களின் எடைகளைக் கணக்கிட்டுப் பார்த்தால் கீழே கொடுக்கப் பட்ட அட்டவணையில் உள்ளபடி இருக்கும். மாலிகியூல்களின் நேர் வேகங்களைக் குறைந்ததாக எடுத்துக்கொண்டுள்ளோம். இதற்குக் காரணம், மத்திய மட்டதளத்தில் பரப்பப்படும்போது வாயு குளிர்வதே யாகும்.

மாலிகியூலின் வேகம்	சுருங்கலின் பொருண்மை (ஞாயிற்றினுடன் ஒப்பிட்ட வகையில்)
விநாடிக்கு 100 கெஜங்கள்	5
,, 300 ,,	140
,, 500 ,,	640
,, 1000 ,,	5000

மறுபடியும் சுருங்கல்களின் பொருண்மை ஞாயிற்றினுடன் ஒப்பிட்ட வகையில் கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இந்த அட்டவணையில் உள்ள பதிவுகள் எல்லாம் ஞாயிற்றுக்கு ஒப்பிடும் அளவுள்ள பொருண்மைகளைக் குறிக்கின்றன. பெரிய நெபுலாக்களின் வெளிப் புறங்களில் ஏற்படும் சுருங்கல்கள் விண்மீன்களின் (அளவு) பொருண்மைகளை உடையனவாக இருக்கும்.

விண்மீன்களின் பிறப்பு

நாம் இதுவரை ஆராய்ந்தமுறை விண்மீன்களின் பிறப்பிற்கும் பொருந்தியதாக இருக்கும். நெபுலாக்களின் ஒளிப்படங்களை ஒருமுறை பார்க்கும்பொழுதே, நெபுலாக்களின் மத்திய மட்டதளத்தில் பரவியுள்ள பொருள் சீராகப் பரவியிருக்காது என்பதைக் காட்டுகிறது. இவை, கொத்துகளாகவும், முடிச்சுகளாகவும் (knots), சுருங்கல்களாகவும் அமைந்திருக்கவேண்டும் என்று தெரிகிறது. அநேக நெபுலாக்களின் ஒளிப்படங்களிலிருந்து இதை அறியலாம். இதைவிடத் தெளிவாக ஒளிப்படம் XXVII (பக்கம் 250), ஒளிப்படம் XXIV (பக்கம் 83) இவைகளில் காட்டப்பட்டிருக்கும் நெபுலாக்களின் ஒளிப்படங்களி லிருந்து அறியலாம்.

இந்தக் கொத்துகள் அளவில் பெரியவைகளானதால், ஒரு விண்மீன் என்று இதைக் கருதமுடியாது. இவைகள் பல விண்மீன்களின் தொகுப்புகள் என்றே சொல்லவேண்டும். மிகப்பெரிய தொலைநோக்கி களின்மூலம் காணும்பொழுது, இவை ஒளிப்படம் V (பக்கம் 26)-ல் காட்டப்பட்டிருப்பதுபோல் அநேக வெளிச்சப் புள்ளிகளாகக் காணப்படு கின்றன. இந்த வெளிச்சப் புள்ளிகளை விண்மீன்களாகக் கருதுவதற்கு வேண்டிய காரணங்களை ஏற்கெனவே கூறியிருக்கிறோம். முக்கியமான காரணமாவது, ஸீபைடுபோன்ற மாறும் விண்மீன்கள் தனிப்பட்ட வெளிச்ச ஏற்றத்தாழ்வுகளைக் காண்பிப்பதுதான். விண்மீன்கள், நெபுலாக்களின் மத்திய மட்டதளத்தில் சுருங்கல்களாக அமை கின்றனவா, அல்லது நெபுலாக்களின் ஒளிப்படங்களில் காணப்படும் கொத்துகளான பெரிய சுருங்கல்களாக முதலில் ஏற்பட்டுப் பிறகு விண்மீன்களான சிறிய சுருங்கல்களாக மாறிவிட்டனவா என்பது தெளிவாகவில்லை. மொத்தத்தில் இரண்டு அமைப்பு முறைகள் உள்ளன என்று சொல்லலாம். முதலாவது நெபுலாக்களின் பொருண் மைகள் பெரிய சுருங்கல்களாக உடைவது; இரண்டாவதாக இந்தப் பெரிய சுருங்கல்கள் விண்மீன்களாக மாறுவது. இப்படி அடுத்துவரும் மாறுபாடுகளில், பொருள் படிப்படியாகக் குளிர்ந்துவிடும். எண்ணிக் கையில் இரண்டு மாறுபாட்டிற்கு மேலும் இருக்கலாம் என்றும் சொல்லலாம். இதைப்பற்றி ஒரு முடிவான கருத்தை இப்பொழுது நாம் சொல்லவேண்டியதில்லை. ஏனென்றால், நம்முடைய முக்கிய விளக்கவாதத்திற்கு இஃது அவசியமில்லை. நெபுலாக்களின் படிமுறை வளர்ச்சியை, முதன்முதலில் ஒளிப்படம் XXVIII-ல் காட்டப்பட்டிருப் பதுபோல் பொருளின் மத்தியவட்ட நிலையிலிருந்து சிறுமணிக் கொத்துகளாக (granular bunches) (ஒளிப்படம் XXVII, பக்கம் 250-ல் காட்டப்பட்டிருப்பதுபோல்), பிறகு விண்மீன்களாக நன்றாக அமைந்து (ஒளிப்படம் V, பக்கம் 26-ல் காட்டப்பட்டிருப்பதுபோல்),

கடைசியில் இப்பொழுதுள்ளதுபோல் அவைகள் காணப்படுவதாக (ஒளிப்படம் XXXI பக்கம் 284-ல் உள்ளதுபோல்) சொல்லலாம். ஹப்பிள் (Hubble) என்பவர் இதை இன்னும் தொடர்ந்து ஆராய்ந்திருக்கின்றார். கடைசியாகச் சொல்லப்பட்ட நெபுலாக்களிலிருந்து, ஒளிப்படம் XIII-ல் (பக்கம் 34) காட்டப்பட்டிருக்கும் பெரிய மெகலனிக் மேகம், சிறிய மெகலனிக் மேகம் என்று சொல்லப்படும் விண்மீன் மேகங்களின் அமைப்புவரை இதன் வளர்ச்சியை இவர் ஆராய்ந்தறிந்திருக்கிறார்.

ஆகையினால் விண்மீன்கள், இவைகளின் பெற்றோர்களான பெரிய நெபுலாக்கள் பிறந்த மாதிரியேதான் பிறந்திருக்கவேண்டும். அதாவது 'ஈர்ப்பு விசையின் நிலையின்மை', (Gravitational Instability) என்ற முறைப்படி. இந்த முறை, குழப்பமாக அமைந்திருக்கும் வாயுவின் பொருண்மைகளைத் தனிப்பட்ட சுருங்கல்களாக மாற்றிவிடுகிறது. மேற்கூறிய வாயு எவ்வளவு மெல்லியதாக இருக்கின்றதோ அவ்வளவு அதிகப் பொருண்மையுடையதாக இதிலிருந்து அமையும் சுருங்கல்கள் இருக்கும். முதலில் ஏற்பட்ட சூழ்நிலை நெபுலாக்கள் குறைந்த அளவு அடர்த்தியுடையதாக இருந்ததனால் அவைகளிலிருந்து ஏற்பட்ட சுருங்கல்கள் ஞாயிற்றைவிடப் பல மிலியன் மடங்குகள் அதிகப் பொருண்மையுடையனவாக அமைந்துவிட்டன. சுருங்கும் பொழுது, இவைகளின் அடர்த்தி அதிகரித்து, இவைகளின் சுழற்சியினால் வாயுப்பொருண்மை (gaseous matter) வெளியேற்றப்பட, விண்மீன்களின் பொருண்மை அளவு பெரிதான சுருங்கல்களாக மாறிவிட்டன. இதை நாம் விண்மீன்களென்று நம்புகிறோம் (சொல்லுகிறோம்.)

இரண்டாவது கூறிய முறையைவிட முதலாவது கூறிய முறையைப் பற்றி நமக்குத் தெரிந்த உண்மை குறைவானது. முதலில் கூறப்பட்ட முறையில் நமக்கு இருக்கும் நம்பிக்கைக்குக் காரணம் தனிச்சிறப்பு அண்ட நெபுலாக்களின் இருப்பும், சூழ்நிலை குழப்ப நெபுலாக்களின் இருப்பைப்பற்றிய ஊகக்கோட்பாடு இப்பொழுது இருக்கும் நெபுலாக்களின் வளர்ச்சியைப்பற்றிய விளக்கங்களைத் தருவதாலுமாகும். மற்றொருபக்கம், விண்மீன்கள் இருக்கின்றன என்றும்; இவை, இயற்கை விசைகளின் செயல்களினால் பொருள்களிலிருந்து விண்மீன்களாக ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்றும் தனிச்சிறப்பு அண்ட நெபுலாக்களின் ஓரங்களிலிருந்து அறிகிறோம்.

விண்மீன் கொத்துகள்
(Star Clusters)

விண்மீன்களில் பெரும்பாலும், நம்முடைய அண்டத்தைச் சேர்ந்தவையாகிலும், தனிச்சிறப்பு அண்ட நெபுலாக்களைச் சேர்ந்தவை

யாகிலும், வானவெளியில் பயணம் செய்வதில்லை. இவைகள் கொத்து களாகச் சேர்ந்திருக்கின்றன. நம்முடைய தொகுப்பில் காணப்படும் (பக்கம் 63) உருண்டைக் கொத்துகள் இதற்கு எளிதான உதாரண மாகும். இந்தக் கொத்துகள் மிக அடர்த்தியாக இருப்பதனால் மற்ற விண்மீன்களினால் பாதிக்கப்பட்டுப் பிரிந்துவிடாமல் இருக்கின்றன. இவைகள் உருண்டைகளாக இருப்பதற்கு அவைகளின் ஈர்ப்புச் சக்தியே காரணமாகும். நம்முடைய தொகுப்பில் இந்தக் கொத்துகள் அண்ட மட்டதளத்திற்கு (galactic plane) வெளியே அமைந்திருக் கின்றன. இதற்குக் காரணம், ஷேப்லி சொன்னபடி இவைகள் பயணம் செய்யும்பொழுது உடைக்கப்பட்டு மற்ற விண்மீன்களைச் சந்திப்பதனா லிருக்கலாம்; அல்லது இந்த மட்டதளத்திலிருக்கும் மறைக்கும் பொருள்கள் ஒளிபுகாத் தன்மையதாயிருப்பதனால், இருக்கும் கொத்துகள் எல்லாவற்றையும் நம்மால் பார்க்கமுடியாமலிருக்கலாம்.

இதற்கு நேர்மாறாக, இயங்கும் கொத்துகளான (moving clusters) 'பிளையாடீஸ்' (Pleiades), 'ஹயாடீஸ்' (Hyades), சப்தரிஷி மண்டல விண்மீன்கள் (stars of the Great Bear), இவைகளைப்போல் உள்ள இன்னும் அநேக விண்மீன்கள், பொதுவாக அண்ட மட்ட தளத்தில் இயங்கிக்கொண்டிருக்கின்றன. மற்ற (பெரிய விண்மீன்களைத் தவிர) விண்மீன்களுடன் சேர்க்கப்பட்ட உருண்டைக் கொத்துகளில் எஞ்சியிருக்கும் கொத்துகள்தாம் மேற்சொல்லிய இயங்கும் கொத் தாகும். கணக்கு முறைப்படி இந்தக் கொத்துகளில் உள்ள விண்மீன் களுக்கும், அண்ட மட்டதளத்தில் உள்ள இதர விண்மீன்களுக்கும் இடையே ஏற்படும் செயல் எதிர்ச்செயல்கள் ஒவ்வொரு கொத்தை யும் ஒரு தட்டையான பிஸ்கட் வடிவத்தில் அல்லது கைக்கடிகார வடிவத்தில் அமைத்துவிடும். இதன் விட்டம் இதன் கனத்தில் $2\frac{1}{2}$ மடங் காகும். கணக்கிட்டு அறியப்பட்ட அளவுக்குப் பொருந்தும் வகையில், பெரும்பான்மையான கொத்துகள் தட்டையாக இருக்கின்றன என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

எல்லாக் கொத்துகளும், உருண்டைக் கொத்துகளாயினும் சரி அல்லது மற்றக் கொத்துகளாயினும் சரி, ஒன்றுக்கொன்றான ஈர்ப்புக் கவர்ச்சியினால் ஏற்பட்ட விண்மீன்களின் தொகுப்புகளாக அமைந் திருக்கின்றன. ஆகையினால், இவை ஒரு நிரந்தர தொகுதிகளாக வானவெளியில் இயங்குகின்றன.

ஞாயிற்றின் அண்மையில் இருக்கும் α சென்டாரி, பிராக்ஸிமா சென்டாரி என்ற கொத்துகள் மூன்று விண்மீன்களினால் ஆனவை. ஏனென்றால், α சென்டாரி என்பது ஓர் இரட்டை விண்மீன் ஆகும் (பக்கம் 195). இந்த மூன்று உறுப்புகளும் வானத்தில் நிரந்தரமாக இணைக்கப்பட்டு இயங்கிச் செல்கின்றன. இதேபோல் இரட்டை

அமைப்புகளான சிரியஸ், புரோஸியான் என்பவைகளேயும் இரண்டு உறுப்புகளே உடைய விண்மீன் கொத்துகளாகக் கொள்ளலாம். சிறிய விண்மீன் தொகுதிகள் இவ்வாறு இணைக்கப்பட்டு ஒன்ருகப் பயணம் செய்வதற்கு மூன்று காரணங்கள் இருக்கலாம். அவை களாவன :

(1) முதலில் அவைகள் தனித்தனியாக இருந்து பிறகு ஒன்ருகச் சேர்ந்திருக்கலாம்—பெரிய விண்மீன்கள் சிறிய விண் மீன்களேச் சேர்த்துக்கொண்டிருக்கலாம்.

(2) முதலில் ஒரே ஒரு விண்மீருக இருந்தது பிறகு பல விண் மீன்களாகப் பிரிந்திருக்கலாம்.

(3) முதலில் இருந்த நெபுலாவிலிருந்து அடுத்தடுத்த சுருங்கல் களாகப் பிரிந்து, ஒன்றிற்கொன்று அண்மையில் அமைந்திருக்கலாம்.

இந்த ஒவ்வொரு காரணத்தைப்பற்றியும் ஆராய்வோம்.

சேர்க்கப்பட்ட இரட்டை விண்மீன்கள்
(Binary Systems as the Result of Capture)

இரட்டை விண்மீன்களில் பெரும்பான்மையானவை ஒருவகை தொகையில்லாத இணையாக (pairs) அமைந்திருக்கின்றன. பக்கம் 50-ல் கொடுக்கப்பட்ட அட்டவணையில் இருக்கும் நான்கு இரட்டை களில் குறைந்தபட்சம் இரண்டாவது இப்படி இருக்கின்றன என்று சொல்லலாம். சிரியஸ், புரோஸியான் என்ற இவைகளில் ஒரு பெரிய, நல்ல வெளிச்சமுள்ள விண்மீன், சிறிய, குறைந்த வெளிச்சமுடைய ஒரு விண்மீனேடு கூடி இருக்கிறது. இந்தமாதிரியான பொருத்த மற்ற இணைகளின் விகித அளவு மிகவும் மாறுபட்டவைகளன்று. o செட்டியில், ஞாயிற்றைவிட 300 மடங்கு விட்டத்தை உடைய விண் மீன், புவியின் அளவில் இருக்கும் விண்மீனேடு சேர்ந்த ஓர் இரட்டைகள் இருக்கின்றன ; இஃது ஒரு யானேயும் பூச்சியும் சேர்ந்து வானத்தில் பயணம் செய்வதுபோலாகும். இந்தமாதிரி பொருத்த மற்ற இணைகளுள் சிறிய உறுப்புகளே 'வானத் தேர்ந்தெடுப்புகள்' (celestial 'pick-ups') என்று ஊகித்துச் சொல்லலாம்—இந்தத் 'தேர்ந்தெடுப்புகள்' கைப்பற்றலின் காரணமாக ஏற்பட்டவை. இருந்தாலும், ஒரு விண்மீனே மற்ருெரு விண்மீன் கைப்பற்றுவதற்கு இரண்டே வழிகள்தான் உள்ளன என்பதை மறக்கக்கூடாது. ஒன்று மோதல், மற்ருென்று மூன்ருவது விண்மீனின் (intermediary) இடையீடு. ஏனென்ருல், இடையீடு இல்லாத விண்மீன்கள் இரண்டும் ஒன்றை ஒன்று இழுப்பதன் காரணத்திஞல் அவைகளின் (முன்பிருந்த)

பாதைகளிலிருந்து விலகிப் புதிய பாதைகளில் இயங்க ஆரம்பித்துவிடும் என்பது நன்ருகத் தெரிந்த உண்மையாகும். ஆனுல், ஒரு விண்மீன் மற்றெரு விண்மீனேடு மோதுவது மிக அரிதாகும். பல ஆயிர மிலியன் ஆண்டுகளுக்கொருமுறை இதைவிட அரிது மூன்று விண் மீன்களும் நேரெதிராக (conjunction) அமைவது. மொத்த விண் மீன்களுள் வெகுசில விண்மீன்களே இந்தமாதிரியான மோதலையோ அல்லது நேரெதிர் அமைப்பையோ அடையமுடியும். இரட்டை விண் மீன்களில், இந்தமாதிரியான முறையில் ஏற்பட்டிருப்பதன் எண்ணிக்கை கருதக்கூடிய அளவில் இல்லை.

சிரியஸ், புரோஸியான் என்ற இரட்டை விண்மீன்கள் இந்த முறையில் ஏற்பட்டன என்று வைத்தாலும், இது பல மிலியன்களுக்கு ஒரு பங்கு நிகழ்திறம் உடைத்தாயினும்—o^2 எரிடானி என்ற விண்மீன் தொகுப்புக்கு இன்னும் அதிகக் கடுமையாக அமையும். ஏனென்ருல், இந்தத் தொகுப்பில் ஞாயிற்றைப் போன்ற ஒரு முதன்மை விண்மீனும் (main star), இதனுடன் சிறிய விண்மீன்கள் இரண்டும் உள்ளன. இந்த இரண்டும் தரத்தில் மாறுபட்டவைகளாக இருக்கின்றன. இதில் உள்ள முதன்மை விண்மீன் மற்ற இரண்டு விண்மீன்களையும் ஒவ் வொன்ருகக் கவர்ந்திருக்கும் என்று நினைப்பது கேலிக்கிடமாகும். இவ்வகைத் தொகுப்புகளின் அமைப்பிற்கு இதர காரணங்கள் உள்ளன.

பிளவுகளினுல் ஏற்பட்ட இரட்டை விண்மீன் தொகுப்புகள்
(Binary Systems as the Result of Fission)

இப்பொழுது இரண்டாவது முறையைப் பார்ப்போம். குழப்பத்தி லிருந்து நெபுலாக்கள் எப்படி ஏற்பட்டிருக்கும் என்பதைப் பார்க்கும் பொழுது தொடக்க இடைநிலைப் பொருளில் (primordial medium) ஓட்டங்கள் இருந்தால், இதிலிருந்து உண்டாகும் நெபுலாக்களில் பல திறப்பட்ட சுழற்சிகளை ஏற்படுத்தும் என்று அறிந்தோம். ஆகையால், இவைகளின் மக்களான விண்மீன்களுக்கும் இந்தச் சுழற்சியை ஏற்படுத்தும். இதற்கு இன்னும் ஒரு காரணம் உண்டு. ‘கோண இயக்கவிசைச் சேமிப்பு’ என்ற விதிப்படி, ஆற்றலைப்போல் சுழற்சியும் அழிந்துவிடாது. இந்தச் சுழற்சியின் மொத்த அளவு அப்படியே இருக்கும். ஆகையினுல், ஒரு நெபுலா விண்மீன்களாகப் பிரியும் பொழுது இந்தச் சுழற்சி ஒவ்வொரு விண்மீனிலும் ஏற்படும். ஆகை யினுல், விண்மீன்கள் உற்பத்தியாகும்பொழுது ஓட்டங்களினுல் கிடைத்த சுழற்சியோடு, இவைகளின் பெற்ருேராகிய நெபுலாக்களி லிருந்து கிடைத்த சுழற்சியையும் உடையவைகளாகின்றன.

இவைகளின் (சுழற்சிகளில்) இடைவிடாத ஆற்றல் வெளிப் பாட்டினால் விண்மீன்களின் பருப்பொருளில் மாறுபாடுகள் ஏற்படும். இந்த மாறுபாடு விண்மீனின் விட்டத்தில் ஒரு சுருங்கலை ஏற்படுத்தும். மேற்சொல்லிய 'கோண இயக்கவிசைச் சேமிப்பு' என்ற விதிப்படி விண்மீன் சுருங்கினால் அதன் சுழற்சி வேகம் அதிகரிக்கவேண்டும். சுருங்கச் சொன்னால், விண்மீன் வளரவளர அஃது அதிக வேகத்துடன் சுழலும்.

நிறமாலை முறையினால் ஒரு விண்மீனின் சுழற்சியை எப்படி நிர்ண யித்து அளக்கலாம் என்பதை ஏற்கெனவே பார்த்தோம் (பக்கம் 40). இந்த முறையை முதன்மையாகப் பெரிய விண்மீன்களுக்கே பயன் படுத்தினோம். இவைகளைப்பொறுத்தவரை மேற்கூறிய விதி உறுதி செய்யப்பட்டுவிட்டது. விண்மீன்களுள் மிகப்பெரியவை—சிவப்புப் பெருமீன்கள் (பக்கம் 213)—சுழலவில்லை என்பதற்கு ஆதாரங்கள் உள்ளன. மற்றபடி, சிறிய விண்மீன்களான 'நீல விண்மீன்கள்' (blue stars) அதிக வேகத்துடன் சுழல்கின்றன. இவைகளின் மத்திய தளக் கோடுகள் விநாடிக்கு 200 மைல்கள்வரை உள்ள வேகத்தோடு சுழலுகின்றன.

ஏற்கெனவே சுழற்சியுடன் அமைந்திருக்கும் நெபுலாக்கள், சுருங்கச்சுருங்க அதிக வேகத்தோடு சுழலும். இந்த வேகமான சுழற்சி யினால் அந்த நெபுலாக்கள் பிளக்கப்பட்டு விண்மீன்களாக மாறிவிடும். இதேமாதிரி விண்மீன்களும் சுழன்றுகொண்டிருப்பதனால், இவைகள் பிளக்கப்பட்டு மூன்றுவது வகை வானப்பொருள்கள் (astronomical bodies) ஏற்பட்டுவிடுமோ என்ற கேள்வி எழும். கணக்கு முறைகள் பெரிய பொருளாயினும் சிறிய பொருளாயினும் இரண்டிற்கும் பயன் படக்கூடியவைகளாகும். பருப்பொருள் நிலை ஏற்றதாயிருந்தால், மேற் கூறியவாறே மூன்றுவது வகை சிறிய பொருள்கள் உண்டாகிவிடும் என்று ஆராய்ச்சியினால் அறிகிறோம்.

பருப்பொருள் நிலைகள் ஏற்றதாக அமையவில்லை. குறைந்தபட்சம் ஒருவிதத்தில் நிலை சரியாக அமையவில்லை. ஒரு சுழலும் விண்மீன் அதன் மத்திய மட்டதளத்தில் வாயுப்பொருளை வெளிப்படுத்தினாலும், நெபுலாக்களில் ஏற்படும் அளவைவிடக் குறைந்த அளவில்தான் இஃது ஏற்படும். முன்போல் இந்த வெளிப்படுத்தப்பட்ட பொருள் சுருங்கல் களாக மாறும் என்று எதிர்பார்க்கலாம். ஆனால், கணக்கிட்டுப் பார்த் தால், மாலிகியூல்களின் நேர்வேகம் மிகக்குறைவாக இருந்தாலன்றி இந்தச் சுருங்கல்களின் எடை, விண்மீனின் மொத்த எடையைவிட அதிகமாக இருந்தால்தான் பிழைத்திருக்கமுடியும் என்று தெரிகிறது! ஆகையினால், மாலிகியூல் வேகம் எவ்வளவு தகுதியானதாக இருந்தா

லும், வெளிப்படுத்தப்பட்ட வாயு சுருங்கல்களாக மாறு. இவை சுற்றியுள்ள வானவெளியில் பரவி, வளிமண்டலங்களாக அமையும்.

விண்மீன்களை, இவைகளுக்கு முந்திய நெபுலாக்களைப்போல், வாயுப் பொருண்மைகளாக எடுத்துக்கொண்டால் இந்த நிலை ஏற்படும். ஆனால், மற்றொரு மாற்று வழியையும் ஆராயவேண்டும்.

திரவப் பொருண்மையின் பிளவுக் கொள்கை (The Fission of Liquid Masses)

சுழற்சியே இல்லாத ஒரு வாயுப்பொருண்மை அதன் ஈர்ப்பின் காரணத்தால் எப்படிச் சரியான கோளவடிவத்தை அடைந்துவிடும் என்றும், சிறிது சுழற்சி ஏற்பட்டால் புவியைப்போன்று ஆரஞ்சு வடிவத்திற்குத் தட்டைப்படுத்தப்படும் என்றும் அறிந்தோம். புவியும், வாயுப் பொருண்மையைப்போலன்றி மாறுபட்ட உட்புற அமைப்பை உடையதாயினும், அதன் சுழற்சியின் காரணமாக ஆரஞ்சு வடிவத்தை உடையதாக யிருக்கின்றது.

உட்புற அமைப்பு எவ்வாறிருந்தாலும், இந்தத் தட்டையான ஆரஞ்சு வடிவம், பொதுவாக, மெதுவாகச் சுழலும் எல்லாப் பொருள்களுக்கும் உண்டு. வாயுக்கள், திரவங்கள், பிளாஸ்டிக்குகள் இவைகள் மெதுவாகச் சுழலும்வரை இந்த வடிவத்தையுள்ளவைகளா யிருக்கும். இதற்கு நேர்மாறுனது நீரைப்போன்ற அழுத்திச் சுருக்கமுடியாத திரவங்களின் நிலை. இதில் கருதக்கூடிய அளவு நடுப்புறத் திரட்டு (central concentration) இருக்காது.

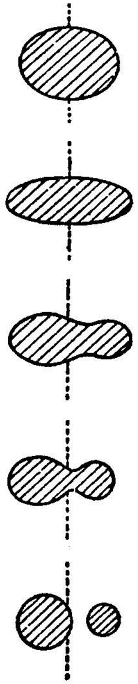
இந்தமாதிரியான பொருண்மை அதன் சுழற்சி வேகத்தை அதிகப்படுத்தினுல், ஆரஞ்சு வடிவத்தில் உள்ள இஃது இன்னும் தட்டையான ஆரஞ்சு வடிவத்தை அடையும். வாயுப்பொருண்மைகள் அவைகளின் மைய மட்டதளத்தில் கூர்மையான முனைகளுடைய வடிவத்திற்கு மாறுவதுபோல், இந்தப் பொருண்மைகள் மாறு. இதன் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றம் (cross-section) நீள்வட்டமாக இருக்கும். இதைவிட வேகம் அதிகமானுல் மத்தியக்கோடு வட்டவடிவத்தை இழந்து நீள்வட்டமாக மாறிவிடும். இந்த உருவம், மூன்று சமமில்லாத விட்டங்களை உடைய ஒன்றுகும். ஆனுல், இதன் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றம் ஒவ்வொன்றும் சரியான நீள்வட்டமாகத்தான் இருக்கும். இந்த உருவத்திற்கு ‘எலிப்ஸாயிடு’ (ellipsoid) என்று பெயர். இதற்குப் பிறகு, இருப்பதிலேயே மிக நீளமான விட்டம் இன்னும் நீளமாகி, கடைசியில் இந்த விட்டம் மிகக்குறைந்த (மூன்றில் மிகக்குறைந்த) விட்டத்தைப்போல் மூன்று பங்கு அளவில் அமையும். அப்பொழுது ஒரு ‘சுருட்டு வடிவம்’ (cigar shaped figure) கிடைக்கும்.

இனி, புதிய நிகழ்ச்சிகள் ஆரம்பமாகின்றன. திரவத்தின் பொருண்மை அதன் (மிக) நீளமான விட்டத்தில், இரண்டு இடங்களில் திரளுகின்றது. இதனால் இந்த இரண்டு இடங்களின் நடுவில் ஒரு நீண்ட பள்ளம் (furrow) அல்லது இடுப்பு (waist) உண்டாகிறது. இந்தப் பள்ளம் இன்னும் ஆழமாகிப் பொருளை இரண்டாகப் பிரித்து விடுறது. இந்த இரண்டு பகுதிகளும் ஒன்றை ஒன்று சுற்றும் பாதையில் சுழன்றுகொண்டே இரட்டை விண்மீன்களாகின்றன. இந்த நிகழ்ச்சியின் வரிசைப்படி மாறுதல் 20ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. ஒப்பிட்டுப் பார்ப்பதற்கு வரிசையாக, அந்தச் சுழலும் வாயுப் பொருண்மையின் வடிவங்கள் 21ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. இவை நெபுலாக்களின் கண்டறியப்பட்ட வரிசையான உருவங்களுக்கு இணையாக இருக்கின்றன. இதை, ஒளிப்படம் XXVIII-ல் (பக்கம் 251) ஒளிப்படமாகக் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன.

சுழல்கின்ற சீரான பொருளின் அமைப்பையும், சுழல்கின்ற நடுவில் கெட்டியாக்கப்பட்ட பொருள் (concentrated) இவை இரண்டின் தொடர் அமைப்பையும் 20, 21ஆம் படங்களில் காணலாம். வானப் பொருள்களின் அமைப்பு இவை இரண்டிற்கும் மத்தியநிலை யுடையதாயிருப்பதனுல் இவைகளின் வளர்ச்சி முறை, 20, 21ஆம் படங்களில் காட்டப்பட்ட சித்திரங்களுக்குள் ஒரு மத்தியநிலைச் சித்திரமாக அமையும். ஆனல், கோட்பாடு இது சரியானதன்று என்பதைக் காண்பிக்கின்றது. ஒரு குறித்த நடுத்திரட்டுநிலை அளவிற்குக் (critical degree of central concentration) கீழ் உள்ள பொருள்களின் வளர்ச்சிமுறை 20ஆம் படத்தில் உள்ளபடியும், இந்த அளவிற்கு மேலான அளவு நடுத்திரட்டு உள்ள பொருள்களின் வளர்ச்சி முறை 21ஆம் படத்தில் உள்ளதுபோலவும் இருக்கும். ஆகையினுல், ஒரு பொருள் குறித்த நடுத்திரட்டு அளவை அடைந்த உடன் அதன் வளர்ச்சி 20ஆம் படத்திலிருந்து, 21ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டதுபோல் ஆகிவிடும். ஆகையினுல் ஒவ்வொரு சுழலும் பொருளும், முற்றிலும் ஒரு திரவத்தைப் போலவோ, அல்லது ஒரு வாயுவைப்போலவோ நடந்துகொள்ளும். இவை இரண்டிற்கும் மத்தியநிலை கிடையாது. வரிசையாகக் காட்டப்பட்டிருக்கும் வகையில் 20ஆம் படத்தில் உள்ள பொருளின் வளர்ச்சி முறை, கடைசியில் ஒன்றை ஒன்று சுற்றிவரும். இரட்டைத் தொகுப்பைக் (binary system) கொடுக்கும். இரட்டைத் தொகுப்புகள் இம்மாதிரியாகத்தான் ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்று அடிக்கடி நினைக்கப்படுகின்றது. ஆனல், வெகுநாட்களாகவே இதில் இடர்ப்பாடுகள் இருக்கின்றன என்பதையும் உணர்ந்திருக்கிருர்கள். இந்த நிலை, நம் அறிவு எவ்வளவு வளர்ந்தாலும் இன்னும் குறையவில்லை.

இதில் உள்ள முதன்மையான இடர்ப்பாட்டைக் கீழே கொடுத்திருக்கிறேம். தற்காலச் சோதனை பௌதிகம் (experimental physics)

விண்மீன்களின் உட்புற அமைப்பைப்பற்றி ஆராய்வதற்குவேண்டிய அளவு அறிவைப் புகட்டியிருக்கிறது. இதைப்பற்றி இந்தமுறையில் எவ்வளவு ஆராய்ந்தாலும் விண்மீன்களின் உட்புறம் வாயுபோன்றே அமைப்பு முறையில் நடந்துகொள்கின்றன என்பதைத் திடமாக அறி கிறோம். இதன் வளர்ச்சிமுறை 21ஆம் படத்தில் காட்டியுள்ளபடி இருக்கும். இப்பொழுது விண்மீன்களின் உட்புற அமைப்பைப்பற்றி நமக்கு உள்ள அறிவில், சீரான பரவலையுடைய ஞாயிற்றைப்போன்ற மிகப் பெரிய பொருள்கள் சுழற்சிப் பிளவினால் (rotational fission) இரட்டைத் தொகுப்புகளாக மாறிவிடும் என்பதை நினைப்பதே கடினமாயிருக்கிறது. ஆனாலும், அநேக இரட்டைத் தொகுப்புகளில் ஒவ்வோர் உறுப்பும் ஞாயிற்றைவிட மிகப் பெரியதாயிருக்கின்றது.



படம் 20. சுழலும் திரவப் பொருண்மையின் வடிவமைதிகளின் முறை

படம் 21. சுழலும் வாயுப் பொருண்மையின் வடிவமைதிகளின் முறை

இதை நேர்முகமான ஆதாரங்களினால் அறியலாம். சாதாரண மறைக்கும் இரட்டை விண்மீன்களில் (eclipsing binary) தெரிந்த அளவு பொருண்மைகளை உடைய இரண்டு பொருள்கள், குறித்த தூரத்

தில் ஒன்றை ஒன்று சுற்றிவருகின்றன. ஆகையினால், ஈர்ப்பினால் ஒன்றை ஒன்று இழுக்கும். இந்த ஈர்ப்பின் அளவை எளிதில் அறியலாம். இந்த இரண்டு பொருள்களும் போதிய அளவு அண்மையில் இருந்தால் அலைச் செயலின் (tidal action) காரணமாக அவைகளின் உருவங்களையே மாற்றிவிடும். இந்தப் பொருள்களின் உருத்திரிபு (distortion) அளவு அவைகளின் நடுத்திரட்டைப் பொறுத்திருக்கும். இந்த நடுத்திரட்டில் சற்று ஏற்றத்தாழ்வு இருந்தால், இதற்கேற்ற உருத்திரிபின் ஏற்றத்தாழ்வுகளைக் கணக்கிடலாம். நாம் கண்டறிந்த அளவில், இதுவரையில் கணக்கிடப்பட்ட திரட்டு அளவு, ஒரு பொருளின் பிளவினால் ஏற்படக்கூடிய திரட்டளவிற்கு அதிகமாகவே இருக்கின்றது.

இரண்டாவது சான்று கீழே கொடுக்கப்பட்டபடியாகும். ஓர் இரட்டைத் தொகுப்பின் இரண்டு உறுப்புகளும், அவைகளைப் புள்ளிகள் என்று கருதக்கூடிய அளவிற்கு தூரமாக அமைந்திருந்தால், இவைகளின் சுற்றுப்பாதை ஒவ்வொன்றும் நிறைவான நீள்வட்டங்களாக இருக்கும். இந்தத் தூரத்தைவிட இன்னும் நெருங்கி இருந்தால் இவைகளின் சுற்றுப்பாதைகள் நீள்வட்டங்களாகா ; வானவெளியில் சுற்றும் நீள்வட்டங்களாக அமையும் இந்தச் சுழற்சி, பொருண்மைகள் நடுப்புறத்தில் திரண்டிருக்கும்பொழுது மெதுவாக இருக்கும். ஏனென்றால், இந்தப் பொருள்களைப் புள்ளிகளாக நினைக்கலாம். இதைவிடக் குறைவான நடுத்திரட்டு இருந்தால், சுழற்சி வேகம் இன்னும் அதிகமாகும். இந்தச் சுற்றுப்பாதைகளின் சுழற்சி வீதத்தை அளந்தறியலாம். இதனால், பிளவு ஏற்படுவதற்கு இயலாத அளவில் நடுப்புறத் திரட்டுடையனவாக இப் பொருள்கள் அமைந்திருக்கின்றன என்று முடிவு கொள்ளலாம்.

இந்தச் சான்றைப் புறக்கணித்து இரட்டை விண்மீன்கள் ஒரே பொருளின் பிளப்பிலிருந்துதான் ஏற்பட்டவை என்று நினைத்தால், இந்தப் பிளவுகள் ஏற்பட்ட பிறகு என்ன மாறுதல்கள் ஏற்படும் என்பதை ஆராய்வது கடினமாகும். 20ஆம் படத்தில் காட்டியபடியே, இந்த இரண்டு பொருள்களும் (பிளவுபட்ட) ஒன்றை ஒன்று எப்பொழுதுமே சுற்றிக்கொண்டிருக்கும் என்று நினைப்பது சரியன்று. இப்படி நினைத்தால் இரட்டை விண்மீன்களின் அமைப்பை விளக்கமுடியாது. ஏனென்றால், இவைகள் பல மிலியன்கள் விட்ட அளவுடன், இடையில் பலவகைத் தூரங்களை உடையவைகளாக இருக்கின்றன. இப்படியென்றால் 20ஆம் படத்தில் காட்டியபடி வரிசைப்படி எப்படி இவைகள் தொடர்ச்சி பெறுகின்றன? பல மிலியன்கள் விட்ட அளவு தூரத்தில் உள்ள பொருள்களாக முடிவில் அமைகின்றனவா? பொருண்மையான இரட்டைத் தொகுப்புகளில், உறுப்புகள் அவைகளின் இடையில் மிகுந்த தூரத்தை உடையவைகளாக இருப்பதற்கு ஓர் இயற்கையான

காரணத்தைக் கண்டுபிடிக்க முடியுமா? இரண்டு விண்மீன்களை வெகு தூரத்தில் பிரித்து வைப்பதற்கு மிக அதிக அளவு ஆற்றல் வேண்டும் என்பதைக் குறித்துதான் நம் கேள்விக்கு விடை பிறக்கும். ஓர் இரட்டைத் தொகுப்பின் இரண்டு உறுப்புகளும் ஒன்றிற்கொன்று அதிக தூரத்திற்குப் பிரிந்து செல்ல எங்கிருந்து ஆற்றல் கிடைக்கும் என்பதே பிரச்சினை.

இந்த ஆற்றல் மற்ற விண்மீன்கள் அருகில் வரும்பொழுது கிடைக்கும். ஆனால், (பக்கம் 102) இந்த வாய்ப்பு ஓர் அரிய வாய்ப் பாகும். இந்த முறையில் கிடைக்கும் ஆற்றல் சில ஆயிர மிலியன் ஆண்டுகளுக்காயினும் கருதக்கூடிய அளவில் இருக்காது என்று ஓர் எளிய கணக்கு முறையில் காணலாம்.

ஆகையினால் நெருங்கியிருக்கும் உறுப்பினர்களை உடைய ஓர் இரட்டைத் தொகுதியில் இவைகளைப் பிரிப்பதற்கு வேண்டிய ஆற்றல் அவைகளிலிருந்தே ஏற்படவேண்டும். இந்தத் தொகுப்பு தனக்கு வேண்டிய ஆற்றல் களஞ்சியத்தை வைத்திருக்கவேண்டும்—தண்ணீ ரில்லாத ஒரு கடலில் உள்ள கப்பல்போல், ஆற்றல் கிடைக்க ஒரே ஒரு வழிதான் உண்டு. இஃது உறுப்புகளின் சுழற்சியினால்தான் ஏற்படும். இது கிடைக்கும் வழி கீழ்வருமாறு.

அலை எழுச்சி உராய்ப்பு (Tidal Friction)

ஓர் இரட்டைத் தொகுப்பின் உறுப்புகள் ஒன்றிற்கொன்று நெருங்கி இருக்கும்பொழுது அவைகளின் உருவே மாறும்படியான அளவிற்கு ஒன்றை ஒன்று இழுக்கும் என்பதைப் பார்த்தோம். இது, சந்திரன் புவியின்மேல் அலைகளை ஏற்படுத்துவதைப்போலாகும். சந்திரனின் அண்மையே இந்த அலை எழுச்சிக்கு முக்கிய காரணம். தொலைவில் உள்ள ஒரு சந்திரனின் ஈர்ப்புவிசை சீரானவகையில் இருக்கும். சந்திரன் போதிய அளவு அண்மையில் இருப்பதனால் அதன் விசை, அதற்கு அருகில், அல்லது அதற்கு நேர்கீழாக இருக்கும். கடலின்மேல் சராசரியைவிட அதிகமாயும், இந்தப் பகுதிக்கு நேர் எதிரான பக்கத் தில் உள்ள பகுதியின்மேல் மிகக் குறைவாயும் இருக்கும். புவி, சுழன்றுகொண்டிருக்காவிட்டால், சந்திரனின் அண்மையில் உள்ள கடல்நீர் சந்திரனுக்கு வெகு அண்மையிலும், எதிர்ப்புறத்தில் உள்ள கடல்நீர் வெகு தொலைவிலுமாக இருக்கும். ஆகையினால், உச்ச அலை எழுச்சி (high tide) உள்ள இடங்கள் இரண்டாகும். ஒன்று சந்திரனின் நேர் கீழ்ப்பகுதி, மற்றொன்று இதற்கு நேர் எதிர்ப்பகுதி. இந்த வினை வோடு, புவியின் சுழற்சியும் சேர்ந்து மாக்கடல் அலை எழுச்சி (ocean tide) என்ற ஒரு சிக்கலான நிகழ்ச்சியை ஏற்படுத்திவிடுகின்றது.

இதேபோல் சுழன்றுகொண்டிருக்கும் ஒரு வானப்பொருள் பிரியும்பொழுது, முதலில் மிக அண்மையில் இருப்பதால் ஒன்றின்மேல்

மற்றொன்று அதிக அளவு அலை எழுச்சிகளை ஏற்படுத்துகின்றன. இவை இந்த இரண்டினிடையே உள்ள ஈர்ப்பு விசையை வெகுவாக பாதிக்கின்றன. இதன் விளைவை அலை எழுச்சி உராய்ப்பு என்ற தலைப்பில் ஸர் ஜார்ஜ் டார்வின் (Sir George Darwin) என்பவர் ஆராய்ந்தார். இந்த முறையில் வெளிப்படும் விசைகள் இரண்டு உறுப்புகளையும் பிரித்து, இதன் காரணமாக அவைகளின் சுழற்சி வேகங்களையும் சமப்படுத்தும் என்று இவர் காண்பித்தார். பல மிலியன் ஆண்டுகளுக்குப் பிறகு இவைகளின் சுழற்சி வேகமும், இவை ஒன்றை யொன்று சுற்றும் வேகமும் சமமாக ஆகிவிடும். இதனால் இரண்டும் நிரந்தரமாக ஒன்றிற்கொன்று ஒரே முகத்தைக் காட்டிக்கொண்டு, ஒரு 'டம்ப் பெல்' லின் (dumb bell) இரண்டு கோளங்களும் ஒன்றை ஒன்று சுற்றுவதுபோல, சுற்றிக்கொண்டிருக்கும். இந்த நிலை ஏற்பட்ட பிறகு இவை பிரியா. ஏனென்றால், இந்த நிலையில் இவைகளினிடம் இருந்த ஆற்றல் மறைந்துவிடும்.

இரண்டு உறுப்புகளும் பெரியது சிறியதாக இருந்தால், பெரிய உறுப்பின் சுழற்சி குறைக்கப்பட்டதனால் ஏற்பட்ட ஆற்றல் வெளிப் பாடு சிறிய உறுப்பை வெகு தொலைவு நகர்த்திவிடும். ஆனால், ஓர் இரட்டைத் தொகுப்பில் உள்ளதுபோல், இரண்டு உறுப்புகளும் ஒப்பிடக்கூடிய பொருண்மைகளையுடையனவாயின் மேற்கூறியவாறு நடக்காது. இந்த இரண்டும், இவைகளில் ஏதாவது ஒன்றின் விட்ட அளவைப்போல் சில மடங்கு அளவுள்ள தொலைவிலிருக்குமாறு சிறிது தூரத்திற்குத்தான் பிரிக்கப்படும்.

ஓர் இரட்டைத் தொகுப்பில் பிரிக்கப்படும் அளவு விட்டத்தின் பின்னமாகவும் அல்லது விட்டத்தின் பல மிலியன் மடங்குகளாகவும் இருக்கலாம் என்று ஏற்கெனவே பார்த்தோம். ஒரே பொருளின் பிளவினால் ஏற்பட்ட இரட்டைத் தொகுப்பானால், உறுப்புகள், முதலில் ஏதாவது ஒன்றின் விட்டத்தின் பின்ன அளவு தொலைவிற்குத்தான் பிரிக்கப்படும். ஏனென்றால், அலை எழுச்சி உராய்வினால் உண்டாகும் ஆற்றல், இவைகளை வெகுதூரத்திற்குப் பிரிக்கும் அளவிற்கு இருக்காது. இதைத்தவிர வேறு வழியும் இல்லை. ஆகையினால் மேற் கூறிய இடர்ப்பாடுகளைத் தவிர்த்தாலும், இரட்டைத் தொகுப்புகள், பொதுப்படையாக, பிளவின் காரணமாகத்தான் ஏற்பட்டிருக்க வேண்டும் என்று சொல்லமுடியாது.

கடைசியாகக் கூறப்பட்ட மறுப்பு நெருக்க இரட்டைத் தொகுப்பு களுக்கு உற்றது அன்று. இவைகளில் பெரும்பான்மை, உறுப்பு களின் பொருண்மை, பரிமாணம் இவைகளைப் பொறுத்தவரை ஒன்றாக இருப்பதன்றி, நிறமாலைகளிலும் ஏறக்குறைய ஒன்றாக இருக்கின்றன. ஆகையினால், இந்த உறுப்புகள் ஒரே பருப்பொருள் அமைப்

புடையனவாய் இருக்கும். விரிவான தொகுப்புகளிலும் இதைவிடக் குறைந்த அளவில் இம்மாதிரியான அமைப்பைக் காணலாம். இந்தக் குறைவு, இரட்டைத் தொகுப்புகளை நெருக்க இரட்டைத் தொகுப்பு, விரிவான இரட்டைத் தொகுப்பு (wide binary) என்ற இரண்டுவகை களாகப் பிரித்துச் சொல்லும் அளவிற்கு இருக்கும்.

ஆகையினால்தான் நெருக்க இரட்டைத் தொகுப்பும், விரிவான இரட்டைத் தொகுப்பும் இரண்டு தனிப்பட்ட வகையில் ஏற்பட்டிருக்கும் என்று ஊகிக்கப்படுகிறது. நெருக்கத் தொகுப்பு பிளவின்மூலமும், விரிவான தொகுப்பு வேறு ஏதோ ஒரு வழியிலும் ஆக்கப்பட்டிருக்க வேண்டும். நெருக்கப் பிளவைப் பொறுத்தவரையில் பிளவுக் கோட் பாடு பக்கம் 262-ல் ஏற்கெனவே சொல்லப்பட்ட இடர்ப்பாடுகளுக்கு உட்படுகிறது. மற்றபடி, நமக்குத் தெரிந்த அளவில், விரிவான தொகுப்பிற்குக் கவர்ச்சியே (capture) மூலமாக இருக்கவேண்டும். இது நடைமுறைக்கு ஒவ்வாது என்று ஏற்கெனவே புறக்கணித்து விட்டோம். இனி மூல நெபுலாவின் அடுத்துள்ள சுருங்கல்கள் (adjacent condensations) என்ற கோட்பாட்டை ஆராய்ந்து, இதுவும் ஒவ்வாது என்று காண்போம்.

அடுத்துள்ள சுருங்கல்களினுல் ஏற்படக்கூடிய இரட்டைத் தொகுப்புகள்
(Binary Systems as Adjacent Condensations)

ஊழ்நிலை நெபுலாவிலிருந்து அடுத்துள்ள சுருங்கல்களாக இரட்டைத் தொகுப்புகள் ஏற்பட்டிருக்கலாம் என்பதுதான் இன்னும் நாம் ஆராயவேண்டிய கூற்று. இவை ஈர்ப்பின் காரணமாகத் தனி விண்மீன்களாகப் பிரியாமல் ஒன்றையொன்று விடாது சேர்ந் திருக்கலாம். ஒரு நெபுல வாயுவில் (nebulous gas) ஏற்படும் சுருங்கல்கள், ஓர் எல்லைக்குமேல், பலதிறப்பட்ட வடிவங்களில் இருக்கலாம் என்பதைப் பார்த்தோம். ஆகையினுல் அடுத்துள்ள சுருங்கல்கள் ஒரே அளவாகவும் அல்லது கிட்டத்தட்ட ஒரே அளவாக வும் இருக்கவேண்டும் என்பதற்கு ஒரு காரணமும் கிடையாது. ஓர் இரட்டைத் தொகுப்பு அல்லது பலபடைத் தொகுப்புகளில் (multiple system) உறுப்புகள் வேறுபாடான விண்மீன்களாக இருப்பது விளக்கு வதற்கு எளிதாக இருக்கின்றது.

மற்றபடி, இரட்டைத் தொகுதிகளுக்கு நாம் எடுத்துக்கொண்டது மூலமாயின் (origin), இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட உறுப்பு களின் வயது ஒன்ருக இருக்கவேண்டும். ஆனல், (பக்கம் 256) நாம் பார்த்தபடி சிரியஸ், புரோஸியான், o சிட்டி, இவைகளின்

உறுப்புகள் வெவ்வேறு வயதுடையனவாக இருக்கின்றன. விண்மீன்களின் படிமுறை வளர்ச்சிக் கோட்பாட்டின்படி (போன அதிகாரத்தில் கொடுக்கப்பட்ட) வெள்ளைக் குறுமீன்களும், மங்கலான சிவப்பு விண்மீன்களும் அதிக வயதுடையனவாயும் (முதிர்ந்தவையாயும்), சிவப்புப் பெருவிண்மீன்கள், பெரிய முதன்மைத் தொடர் விண்மீன்களில் இவை இளையனவாயும் இருக்கவேண்டும்.

விண்மீன்களின் படிமுறை வளர்ச்சியில் இஃது ஒருவகை இடர்ப்பாடகத்தான் இருக்கின்றது. மொத்தமாக எடுத்துக்கொண்டாலும், அலகு வகையில் (per unit) எடுத்துக்கொண்டாலும், மிகப்பெரிய கனமான விண்மீன்கள் வெகு அதிகமான கதிர்வீச்சை வெளிப்படுத்துகின்றன என்பதைப் பார்த்தோம். முதன்மைத் தொடரில் கதிர்வீச்சு ஏறக்குறைய பொருண்மையின் மூன்றும் அடுக்குக்கு ஏற்ப மாறும். ஆகையினால், இதில் ஞாயிற்றைவிட 10 மடங்கு பொருண்மையையுடைய ஒரு விண்மீன், 1000 மடங்கு வெளிச்ச அளவு உடையதாயும், ஞாயிற்றைவிட 100 மடங்கு விரைவாக அதன் ஆற்றலைப் பயன்படுத்திவிடுவதாயும் இருக்கும். ஆகையினால், அதிகப் பொருண்மையுடைய விண்மீன்கள் (குறைந்த பொருண்மையுடையவைகளைக் காட்டிலும்) அவைகளின் ஆற்றலை வெகுவிரைவில் இழந்து வெகு சீக்கிரமே முதிர்ந்துவிடுகின்றன. இதனால், எல்லா விண்மீன்களும் ஒரே வயதுடையனவாக இருந்தால், மிகப்பொருண்மையுடையவை முதிர்ந்தனவாயும் குறைந்த பொருண்மையுடையவை இளமை மெருகுடனும் இருக்கும். உண்மை இதற்கு நேர்மாறானதாகத்தான் இருக்கிறது. ஆகையினால் எல்லா விண்மீன்களும் ஒரே வயதுடையவை என்று நினைப்பது இடர்ப்பாடானது.

குறிப்பாக இரட்டைத் தொகுப்பை எடுத்துக்கொண்டால் இரண்டு உறுப்புகளும் ஒரே வயதையுடையன என்று நினைக்கமுடியவில்லை. ஆனால், இவை கவர்ச்சியின்மூலம் ஏற்பட்டவைகளானால், வயது வித்தியாசமாகத்தான் இருக்கும். இது மிக அரிதாகையினால் கவர்ச்சியை மூலமாக வைக்கும் கோட்பாட்டைத் தள்ளுபடி செய்துவிடவேண்டும்.

பெரிய தொகுப்பு விண்மீன்களின் மூலத்திற்கும், உருண்டைக் கொத்துகளின் மூலத்திற்கும், அண்டத் தொகுதியின் மூலத்திற்கும் ஆராய்ச்சிவழியில் இம்மாதிரியான இடர்ப்பாடுகள் உள்ளன. இந்தப் புதிரில் ஏதோ ஒரு சிறு துண்டு காணப்படவில்லை.

6. ஞாயிற்றுக் குடும்பம்
(Solar System)

இக் குடும்பத்தின் மூலம்

ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் மூலத்தை ஆராயும்பொழுது அண்டப் படைப்பின் ஆதாரம் தென்பட்டது. இந்த அண்டப் படைப்பின் முயற்சி ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் ஆராய்ச்சியைப் பொறுத்தவரையில், காலவரையறையில், பின்வருமாறு கட்டுப்படுத்தப்பட்டது. அண்டப் படைப்பைப்பற்றிய முற்கால ஆராய்ச்சியின்பொழுது, வானநூலில் ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தைத்தவிர வேறு ஒன்றைப்பற்றியும் தெரியாது.

முந்திய ஊகக் கோட்பாடு

ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் இயக்கத்தில் ஓர் ஒழுங்கான முறை இருக்கின்றது என்பதை முந்திய காலத்திலேயே அறிந்திருந்தனர். இதைப் பற்றி ஊக்கமாக ஆராய்ச்சி செய்ய விரும்பியவர்கள் இதன் காரணத்தைக் கண்டுபிடிக்க முனைந்தனர். முதன்முதலில், இயற்கை விசையின் காரணமாகப் படிமுறை வளர்ச்சியில் எப்படி மாறுகிறது என்று பார்க்காமல், வடிவ எண்ணியல் (geometrical and arithmetical) கணக்கீட்டின்படியே ஆராய்ச்சி நடத்தப்பட்டது. உதாரணமாக, ப்ளேடோ (Plato) என்பவர், ஞாயிறு, சந்திரன், கோள்கள் இவைகளின் தூரங்கள் 'இரட்டை இடைக்கால விகிதம்' (proportions of the double intervals) என்ற முறைப்படி அதாவது 1 : 2 : 3 : 4 : 8 : 9 : 27 என்ற விகிதத்தில் உள்ளன என்று நினைத்தார். இதற்கு இரண்டாயிரம் ஆண்டுகள் கழிந்து கெப்ளர் என்பவர் ஞாயிற்றிலிருந்து கோள்களுக்கு உள்ள தூரம் ஒழுங்கு கன வடிவங்களின் வடிவக் கணக்கின்படி (geometry of the regular solids) அமைந்திருக்கின்றது என்று சொன்னார். ஞாயிற்றை மத்தியமாக வைத்து, கோள்களின் சுற்றுப்பாதை அவைகளின்மேல் இருக்கும்படி கோளங்களை வரைந்தால் ஒழுங்கான கன வடிவங்களில் ஒன்றை அடுத்துள்ள இரண்டு சுற்றுப்

பாதைகளுக்கு நடுவே பொருத்திவிடலாம்—அதாவது, ஒரு கோளத்தை, இந்த ஒழுங்கான கனவடிவத்தின் உட்புறமும், மற்றொன்றை வெளிப்புறமுமாகப் பொருத்திவிடலாம் என்று நினைத்தார்.

கெப்ளர் இதைப்பற்றி வெகு உயர்வாக நினைத்திருந்தார். சிறிது காலத்திற்குப் பிறகு இதைப் புறக்கணித்து, கோள்களின் தூரம் ஒத்திருக்கும் இசை இடைவெளியின் அலைவெண் விகிதங்களின்படி (frequency ratios) அமைந்திருக்கும் என்று நினைத்தார். இதே வகையில் நினைக்கும் போட் (Bode) என்பவர் 1772ஆம் ஆண்டில், ஞாயிற்றைச்சுற்றி இயங்கிக்கொண்டிருக்கும் கோள்களின் தூரத்திற்கு ஓர் எளிய எண் தொடர்பைக் (numerical relation) கொடுத்தார். இது கீழ்வருமாறு: முதலில்

0 1 2 4 8 16 32 64 128 256

என்ற எண்களை எழுதவேண்டும். இதில், முதல் இரண்டைத்தவிர, அடுத்துள்ள ஒவ்வோர் எண்ணும் அதற்கு முந்தியுள்ள எண்ணைப் போல் இரண்டு மடங்காகும். மேற்கூறிய எண்கள் ஒவ்வொன்றையும் மூன்றால் பெருக்கி

0 3 6 12 24 48 96 192 384 768

எண்களை அடைந்து, இவைகள் ஒவ்வொன்றோடும் நான்கைக் கூட்டி

4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196, 388, 772

என்ற எண்களை அடைவோம்.

இவைகள் கிட்டத்தட்ட ஞாயிற்றிலிருந்து கோள்களின் சரியான தூரத்திற்கு விகித சமமாக (proportional) இருக்கின்றன. புவியின் தூரத்தை 10 என்று வைத்தால் இவை

3·9	7·2	10·0	15·2	26·5	52·0	95·4	191·9	300·7	395
புதன்	வெள்ளி	புவி	செவ்வாய்	சிறுகோள்கள்	வியாழன்	சனி	யுரேனஸ்	நெப்டியூன்	புளூட்டோ

என்றாகும்.

இந்த விதியை, யுரேனஸும், சிறுகோள்களும் கண்டுபிடிக்கப் படுவதற்கு முன்பே கொடுக்கப்பட்டதனால், முன்கூட்டி சொல்லப்பட்ட தூரத்திற்கு ஒத்து இருப்பது மிகவும் வியக்கத்தக்கதும், மற்றபடி

நெப்டியூனைப் பொறுத்தவரையிலும், அதற்குப் பிறகு சமீபத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட புளூடோவைப் பொறுத்தவரையிலும் இந்த விதி சரியாக இல்லை. ஆகையினால் இஃது ஓர் ஏதேச்சையாகக் கொடுக்கப் பட்ட விதியேயன்றி, விளக்க முறையின் (rational) அடிப்படையில் கொடுக்கப்பட்ட விதியன்று என்று முடிவு கூறலாம்.

தற்கால விஞ்ஞானத்தின்படி கோள்களின் தூரத்தைப் பொறுத்த வரை, எண்ணியல் முறையைச் சிறப்பாகக் கருதமுடியாது. காணப் பட்ட ஒழுங்கு முறைகள், படிமுறை வளர்ச்சியின் சார்பாக இருக் கின்றனவா என்பதுதான் இப்பொழுதுள்ள அடிப்படை.

கோள்கள் வெகுதூரத்தில் கடவுளினால் உற்பத்தி செய்யப்பட்டு அவர் கையிலிருந்து ஞாயிற்றை நோக்கி விரைந்து கடைசியில் அவை களின் சுற்றுப்பாதையில் அமர்ந்துவிட்டன என்று ப்ளேடோ (Plato) நினைத்ததாக நியூடன் கூறியுள்ளார். இதற்குப் பிறகு இவைகளின் சுற்றுப்பாதையில் ஒரு நேர்கோண (right angle) அளவில், வேகம் மாற்றப்படாமல் திருப்பப்படுகின்றன. ப்ளேடோ, உட்புற கோள் களின் அதிக வேகத்திற்கு இதுதான் காரணம் என்று நினைத்தார். ஆனால் நியூடன், இந்தமாதிரியாக அடைந்த வேகத்தில் வட்டப் பாதையில் செல்லமுடியாது என்று காண்பித்தார். இவ்வாறு (வட்டப் பாதையில்) செல்வதானால், கோள்கள் திரும்பும்பொழுது, ஞாயிறு இரட்டிப்பு மடங்கு அளவில் இவைகளை இழுக்கவேண்டும் என்றும் நியூடன் காண்பித்தார்.

ஒரு வால்மீன் ஞாயிற்றோடு மோதும்பொழுது, இதனால் சிதறிக் கிளம்பும் பொருள் குளிர்ந்து கோள்களாகின்றன என்று 1750 ஆம் ஆண்டு பஃபன் (Buffon) என்பவர் ஊகித்திருக்கிறார்.

அறிவுநெறி வாழ்க்கையில் (intellectual life) முதன்முதலாக விஞ்ஞானியாக இருந்த இமானுவல் கான்ட் (Immanuel Kant) என்ற தத்துவ அறிஞர்தான் படிமுறை வளர்ச்சி வகையில் முதன் முதலில் ஆய்ந்து கூறினர். டர்ஹாமைச் சேர்ந்த தாமஸ் ரைட் (Thomas Wright) என்பவருக்கு இவர் நன்றி செலுத்தியிருக்கிறர். ஆனால் ரைட் என்பவர் விசையை (trigger) இழுத்ததைத்தவிர வேறு ஒன்றும் செய்ததாகத் தெரியவில்லை.

1751-ல் ரைட் என்பவர் 'அண்டத்தைப்பற்றிய கோட்பாடு அல்லது புதிய ஊகக்கோட்பாடு (இயற்கை விதிகளை ஒட்டி கணிக்கப்பட்ட) பார்க்கக்கூடிய படைப்பின் பொதுத் தன்மையைப்பற்றிய கணித ஆராய்வு' என்ற புத்தகத்தை வெளியிட்டார்.

கான்ட் என்பவர், இந்தப் புத்தகத்தின் தலைப்பையும், இதன் கருத்துரையையும்தவிர (ஹாம்பர்க் ஆராய்ச்சிப் பத்திரிகையில்)

வேறொன்றும் இவர் பார்த்ததாகத் தெரியவில்லை. ஆனால், இதிலிருந்து (வான) அண்டம் இயற்கை விதிகளின்படி எப்படி இப்பொழுதுள்ள நிலைக்கு வளர்ச்சியடைந்திருக்கின்றது என்பதைப்பற்றி யோசிக்க லானார். இவருடைய, முடிவான கருத்துகளை நான்கு வருடங் களுக்குப் பிறகு 'Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels' என்ற தலைப்பில் வெளியிட்டார். இதில், ஊழ்நிலை அண்டத்தை, அமைதியாகவோ அல்லது அலைந்துகொண்டோ இருக்கும் தூசியினாலும், பலவிதப்பட்ட பொருண்மைத் துகள்களாலும் ஆன ஒரு குழப்ப முகிலாகக் கருதியிருக்கிறார். நியூடன் 60 ஆண்டுகளுக்குமுன் வெளியிட்ட ஊகக்கோட்பாடுதான் மேற்கூறிய கோட்பாடுமாகும். ஆனால், காண்ட் என்பவர் நியூடனின் ஊகங்களைப்பற்றி முன்னடியாக எதுவும் அறிந்தவராகத் தெரியவில்லை.

இந்தமாதிரியான குழப்பத்திலிருந்துதான் ஒழுங்கான நம் அண்டம் ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்று காண்ட் கருதுகிறார். ஊழ்நிலை பொருள் கெட்டியாகித் தற்போதுள்ள ஞாயிறாக அமைந்திருக்க வேண்டும் என்பதே முடிவு. ஆனால், பொருள் கெட்டியாகும்பொழுது அது சுழற்சியைப் பெறும் என்று இவர் நினைத்தது தவறாகும். இது வன்றி, கெட்டிப்படும் பொருள் படிப்படியாகக் குளிர்ந்துவருவதனால், இதன் சுழற்சி வேகம் அதிகரித்து, ஒரே பொருளாக நிற்கமுடியாமல் வேகமாகச் சுழற்றப்பட்ட சுழல் வட்டம்போல் (fly-wheel) வெடித் திருக்கவேண்டும் என்றும் கருதினார். மத்தியக் கோட்டிலிருந்து வாயுப் பொருள் வெளியேற்றப்பட்டு, இது குளிர்ந்து, முதலில் திரவமாக மாறி, பிறகு ஒரு கெட்டிப் பொருளாக ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும். இந்தக் கெட்டிப் பொருள்கள்தான், நம் புவிபோன்ற கோளங்களாக அமைந் திருக்கவேண்டும்.

லாப்லாஸின் நெபுலாக் கோட்பாடு (Laplace's Nebular Hypothesis)

1796-ல் லாப்லாஸ் என்பவர் ஏறக்குறைய இதேமாதிரியாகத்தான் ஊகித்திருக்கிறார். இஃது இவரே தனியாக வெளியிட்ட கோட்பாடாகும். இதற்குமுன் பஃபனைத் (Buffon) தவிர வேறு ஒருவரும் இந்தப் பிரச் சினைகளைப்பற்றி நினைத்திருப்பதாகத் தெரியவில்லை என்று இவரே கூறி யிருக்கிறார். காண்டைவிட லாப்லாஸ் ஒரு சிறந்த கணித அறிஞர் ஆவார். நெபுலப் பொருண்மைகளின் சுருங்கல்மட்டும் அவைகளின் சுழற்சிக்குக் காரணமாக இருக்கமுடியாது என்பதை இவர் நன்கு அறிந்திருந்தார். முதலில் இருந்த கோண இயக்கவிசைக்குமேல் சிறிதளவுகூட அதிக இயக்கவிசை இருக்கமுடியாது. ஆகையினால் முதலி லிருந்தே சுழன்றுகொண்டிருக்கும் நெபுலப் பொருண்மைகள் இருக்க

வேண்டும் என்ற கோட்பாட்டை ஆதாரமாகக் கொண்டார். இது மறுக்கக்கூடியதன்று. ஏனென்றால், வானில் உள்ள எல்லா நெபுலாக்களும் சுழன்றுகொண்டுதான் இருக்கின்றன. ஆகையினால் குளிர்ச்சி, திரட்டு, அதிகச் சுழற்சி இவை கான்டின் கோட்பாட்டில் உள்ளதுபோல் உண்மையாகும். இதிலிருந்து லாப்லாஸ் என்பவர் என்ன மாறுபாடுகள் ஏற்படும் என்பதைச் சரியாகக் கணக்கிட்டுச் சொல்லிவிட்டார். இதனால், சுருங்கல் அதிகமாக, சுழற்சி அதிகமாகி, சுழலும் பொருள் தட்டையாகி லென்ஸ் உருவத்தை அடைந்து (பக்கம் 251, ஒளிப்படம் XXVIII, படம் 3), மத்திய மட்டதளத்தில் உள்ள பொருளை வெளிப்படுத்திவிடும். அதாவது முதன்மைப் பொருளின் சுருங்கலாக அமைந்துவிடும். இந்த நிலையில் ஒளிப்படம் XXVIII-ல் 4, 5ஆம் படங்களில் உள்ள நெபுலாக்களைப்போல் இருக்கும். இந்தமாதிரியான நெபுலாக்களைப்பற்றித் தெரியாததால், வளையங்களால் சூழப்பட்ட சனியை இந்தமாதிரியான வகையைச் சேர்ந்தது என்று லாப்லாஸ் கருதுகிறார் (ஒளிப்படம் XXXII, பக்கம் 285). ஒதுக்கப்பட்ட வாயுவின் விளிம்பு சுருங்கி ஒரு கோளாக அமையும். முதன்மைப் பொருண்மை சுருங்கச்சுருங்க மத்திய மட்டதளத்தில் தங்கும் வாயு சுருங்கி இன்னொரு கோளாகும். இம்மாதிரியே பல கோள்கள் அமையும். கடைசியில் ஞாயிறு சுருங்காமல் நின்றதால் இதற்குப்பிறகு கோள்கள் ஏற்படவில்லை. இதேமுறை சிறிய அளவில் தொடர்ந்து கோள்களிலிருந்து துணைக்கோள்கள் ஏற்பட்டன.

இந்தக் கோட்பாடு முதல் தோற்ற அளவில் (prima facie) சரியானது என்பது இவ்வளவு நாள் இது மறுக்கப்படாமல் இருப்பதிலேயே தெரிகிறது. இதைக் கிட்டத்தட்ட ஒரு நூற்றாண்டுவரை குறிப்பிடத்தக்க மறுப்பு ஒன்றும் இல்லாமல் பொதுவாக எல்லோரும் ஏற்றுக்கொண்டார்கள். தற்சமயம், இதைப்பற்றிய மறுப்புகள் அதிகமாகத் தோன்றிவிட்டபடியால் இதைத் (கோட்பாட்டை) தள்ளிவிடவேண்டியதாக இருக்கின்றது.

அளவுக்குமீறிய சுழற்சியினால் ஞாயிறு கோள்களை உண்டாக்கியிருக்கின்றது என்று லாப்லாஸ் கருதுகிறார். ஆனால், கோண இயக்கவிசை குறையாமல் பாதுகாக்கப்படுவதனால் ஊழ்நிலை ஞாயிற்றிலுள்ளதுபோலவே இப்பொழுதுள்ள ஞாயிற்றின் சுழற்சியாலும் கோண இயக்கவிசை பாதுகாக்கப்படவேண்டும். இதேதான் கோள்களின் சுழற்சியைப்பொறுத்தவரையிலும் பொருந்துவது ஆகும். இவை எல்லாவற்றையும் கூட்டிக் கிடைக்கும் அளவு கோண இயக்கவிசைதான் ஊழ்நிலை ஞாயிற்றின் கோண இயக்கவிசை ஆகும். உண்மையாகக் கோள்கள் பிறந்ததிலிருந்து ஞாயிறு வெளியிட்ட கதிர்வீச்சின் இயக்கவிசை உண்டான அளவையும் மேற்கூறிய

தொகையுடன் சேர்க்கவேண்டும். இதைப் புவியின் வயதிலிருந்து எளிதில் கணக்கிட்டுவிடலாம். இதனுல் கிடைக்கும் தொகை மிகச் சிறியதாகையால் இதைத் தள்ளுபடி செய்துவிடலாம்.

ஊழ்நிலை ஞாயிற்றின் மொத்தக் கோண இயக்கவிசையைச் சரியாகக் கணக்கிட்டுவிடலாம். ஏனென்ருல், 95 சதவீத அளவில் இப்பொழுதுள்ள ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் மொத்தக் கோண இயக்கவிசை நான்கு முக்கியமான கோள்களின் சுற்றுப்பாதை இயக்கத்தில் (orbital motion) இருக்கின்றது ; இதில் 60 சதவீதம் வியாழனுடையது. இந்த நான்கு கோள்களிலிருந்து கிடைக்கும் தொகையைச் சரியாகக் கணக்கிட்டுவிடலாம். ஆகையினுல், மற்றவைகளிலிருந்து கிடைக்கும் 5 சதவீத அளவை மொத்தத்தில் தள்ளுபடி செய்துவிடலாம். இந்த மொத்தத்தைக் கணக்கிட்டால், ஊழ்நிலை ஞாயிறு அது பிளக்கும் அளவுக்குப் போதிய சுழற்சியை உடையதாக இருந்திருக்காது என்று தெரிகிறது. இப்பொழுது ஞாயிறு சுழல்வதைப் பார்த்தால் தெளிவாக, பிளக்கும் நிலையில் அது தற்போது இல்லை என்பது தெரிகிறது. பிளப்பதற்கு முதல் அது தட்டையாகவேண்டும். ஆனுல், தற்கால நுண்ணிய அளவு முறைகளால்கூட இஃது எவ்வளவு தட்டையாக இருக்கின்றது என்பதை நிர்ணயிக்க முடியவில்லை. அதாவது ஞாயிறு தன்னுடைய சுழற்சியினுல் வெகு சிறிய அளவே தட்டைப்படுத்தப்பட்டிருக்கிறது. இதுவரை நமக்குக் கிடைத்த கோண இயக்கவிசையோடு வியாழன், மற்றக் கோள்கள் இவைகளின் சுழற்சிக்கு ஒத்த கோண இயக்கவிசையைக் கூட்டினுல், வியாழனைப்போன்ற அளவு தட்டையாகவும், வியாழன் அல்லது சனி இவைகளின் சுழற்சி அளவையுடைய ஊழ்நிலை ஞாயிற்றை அடைவோம். மேற்சொல்லிய அளவு தட்டையாயிருந்தால் இதைத் தொலைநோக்கியின்மூலம் அல்லது நேர் கண்காட்சியினுல் அளந்துவிடலாம். ஆனுல், இந்த அளவு ஞாயிற்றைப் பிளப்பதற்குப் போதாது. ஆகையினுல் லாப்லாஸ் கருதியதுபோல் ஞாயிறு அதிக சுழற்சியினுல் பிளந்திருக்காது. உண்மையில் அது பிளப்பதற்கு வேண்டிய சுழற்சி அளவில் ஒரு பின்ன அளவுகூட அதற்கு இருந்திருக்காது.

லாப்லாஸின் கோட்பாட்டிற்கு இன்னெருவிதமான மறுப்பும் கூறலாம். லாப்லாஸ் ஒரு பெரிய கணக்கறிஞர். ஆகையினுல் அவருடைய கணக்குக் கொள்கையைப் பொறுத்தவரையில் ஒரு குறையும் கூறமுடியாது. இன்னும் நுண்ணிய தற்கால ஆய்வு இவருடைய கொள்கையை உறுதிப்படுத்தியிருக்கிறது. காட்சியும், சுழலும் நெபுலாக்களின் ஒளிப் படங்களின் (ஒளிப்படம் XXVIII) சாட்சியத்தின்படியும், இஃது உறுதி செய்யப்படுகிறது. இந்த ஒளிப்படங்கள் நம் கண்முன்னுல் நடக்கும் ஒரு முறையை, லாப்லாஸ் நினைத்ததுபோலவே காண்பிக்கின்றன.

அளவைப்பொறுத்தவரையில் மிகப் பெரிய மாறுபாடு இருக்கிறது. எல்லாம் தன்மைரீதியாக (qualitatively) அவர் நினைத்தது போல்தான் நடக்கின்றன. ஆனால், அவர் நினைத்ததற்குமேல் மிகப் பெரிய அளவில் அவைகள் நடக்கின்றன. இந்த ஒளிப்படங்களில், ஒரு ஞாயிற்றுக்குப் போதிய அளவு பொருள்மட்டும் இல்லை. நூறு மிலியன் ஞாயிறுகளை உண்டாக்குவதற்கான பொருள் இருக்கின்றது. இதன் சுருங்கல்கள் நம் புவியைப்போன்ற சிறிய கோள்களாவதில்லை. அவை களே ஞாயிற்றைப்போன்ற அளவில் இருக்கின்றன. இவைகளின் எண்ணிக்கை எட்டு, பத்து என்றில்லாமல், பல மிலியன்களளவில் இருக்கும்.

லாப்லாஸ் நினைத்தபடி இது சிறிய அளவிலும் ஏன் நடக்கக் கூடாது—கணித முடிவுகள் அளவுகளைப்பொறுத்து இருப்பதில்லை—என்று கேட்கலாம். இதற்கு விடையை ஏற்கெனவே கொடுத்திருக் கிறோம் (பக்கம் 245). சுருங்கல் ஏற்படுவதற்கு முன்பு எல்லாம் திட்டத்தைப்போல் சிறிய அளவிலேயே நடக்கின்றன. இதிலிருந்து அளவு (scale) முறை முக்கியமானது. ஞாயிற்றில் உள்ள மாலி கியூல்கள் மிக அதிக அளவில் இருப்பதனால் இவை சுருங்கி விண்மீன் களாகின்றன என்பதைப் பார்த்தோம் (பக்கம் 240). அறையில் உள்ள மாலிகியூல்கள் மிகக் குறைவாக இருப்பதனால், இவை சுருங்குவதனால் ஒன்றும் கிடைக்காது. இதேபோல் மெதுவாகச் சுருங்கும் ஞாயிற்றில் பின்தங்கிய மாலிகியூல்களும் (ஞாயிறு, மாலிகியூல்களை வெளிப் படுத்தும் அளவுக்கு வேகமாகச் சுழல்வதாக வைப்போம்) சுருங்காது. ஏனென்றால், எந்த ஒரு நேரத்திலும் இவைகளின் எண்ணிக்கை மிகக் குறைவாக இருக்கும். இவைகள் சிறு துளிகளாக வெளிவரும். ஆனால், இவ்வாறு உள்ள வாயு ஓர் ஒட்டையான எரிவிளக்கைப்போல் (gas burner) வானவெளியில் பரவிவிடுமேயன்றி சுருங்காது. ஒரு கணக்கீடு இதை உறுதியாகத் தீர்மானிக்கிறது. இந்தக் கணக்கீட்டுமுறை, லாப்லாஸுக்குத் தெரியாத, மாலிகியூல்களின் தன்மையையொட்டி இருக்கிறது. இதன் முடிவு அவருடைய கோட்பாட்டுக்கு மாறாக இருக் கிறது. சிறிய சிறிய விவரங்கள் சிலவற்றைத் தள்ளுபடி செய்தால், லாப்லாஸின் முறை நெபுலாக்களிலிருந்து ஞாயிறுகள் பிறந்ததைத்தான் தெளிவுபடுத்த முடியுமேதவிர, ஞாயிறுகளிலிருந்து கோள்கள் பிறப் பதைத் தெளிவுபடுத்தமுடியாது.

சமீபத்தில் செய்யப்பட்ட ஆராய்ச்சிகள் அனைத்தும் லாப்லாஸின் ஊகம் தவறு என்று காண்பிக்கின்றன (அதாவது, கோள்கள் எல்லாம் ஒரே விண்மீனிலிருந்து ஏற்பட்டவை என்ற கோட்பாடு). ஆகையினால், கோள்கள் இரண்டு பொருள்களைத் தாய், தந்தையாக உடையவை என்று கருதப்படுகிறது.

இரண்டு-பொருள் கோட்பாடு
(Two-body Hypotheses)

இந்த ஊகம் இதன் தகுதிகளைப் பொறுத்திருக்கிறது. முன் சொன்னபடி பஃபன் என்பவர், ஞாயிற்றின் குடும்பம், ஞாயிற்றுக்கும் வால்மீனுக்கும் இடையே ஏற்பட்ட மோதலினால் தோன்றிற்று என்று கருதினார். ஞாயிற்றின் துண்டுகள் சிதறி இன்றைய கோள்களாகச் சுருங்கிவிட்டன. 1880ஆம் ஆண்டு நியூஜீலாந்தைச் சேர்ந்த பிக்கர்டன் என்ற பேராசிரியர் மேற்கூறிய பஃபனின் கோட்பாட்டைப்போன்ற மற்றொரு கோட்பாட்டை விடுத்தார். இதில் வால்மீனுக்குப் பதிலாக விண்மீனின் உராய்வு மோதல் (grazing collision) ஆதாரமாக உள்ளது. இந்த உராய்வினால் ஒரு மூன்றும் நெபுலப் பொருள் ஏற்பட்டு இது கோள்களாகச் சுருங்கிவிட்டன என்று இவர் கருதினார். மேலும், இந்தக் கோள்கள் நெபுலாவைச் சுற்றும்பொழுது சில தடைகளுக்கு உள்ளாகி, கடைசியில் வட்டப்பாதையில் சுற்றும் என்றும் காண்பித்தார். இப்பொழுது இருக்கும் கிட்டத்தட்ட வட்டச் சுற்றுப்பாதைகளுக்கு இது சரியான விளக்கமாக இருக்கின்றது. இதற்குப் பத்து வருடங்களுக்கு முன் ஆர். ஏ. பிராக்டர் என்ற ஆங்கில எழுத்தாளர் இந்தமாதிரியான கோட்பாட்டைப்பற்றிச் சொல்லியிருக்கிறார். ஆனால், பிக்கர்டனைப்போல் நுட்பமாகச் சொல்லவில்லை. சமீபத்தில் கேம்பிரிட்ஜைச் சேர்ந்த எச். ஜெஃப்ரீஸ் என்பவரும் இதே முறையில் தான் சிந்திக்க ஆரம்பித்திருக்கிறார்.

இந்தக் கோட்பாடுகள் எல்லாம் ஒரு முக்கிய மறுப்புக்கு உட்படும். ஏனென்றால், மிகப்பெரிய கோள்களாகிய வியாழனும் சனியும் அவைகளின் துணைக்கோள்களோடு சேர்ந்திருப்பது ஒரு சிறிய ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தைப்போல் அமைந்திருக்கின்றது. ஆகையினால், ஞாயிற்றுக் குடும்பத்திற்கும் இவைகளுக்கும் உள்ள ஒற்றுமை இவைகளின் மூலம் (origin) பலவிதமாக இருக்கமுடியாது என்பதைக் காட்டுகிறது. ஒவ்வொரு குடும்பமும் (வியாழன், சனி, ஞாயிறு) தனித்தனியாக ஏற்பட்ட உராய்வு மோதலிலிருந்து ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்று நினைப்பது நிகழ்திறனை (probabilities) மிகைப்படுத்துவதாகும். இந்தமாதிரி உராய்வு மோதல் ஒன்று ஏற்படுவதே அரிது (நடக்காதது கூட என்று சொல்லலாம்). அப்படியிருக்க மூன்று எதிர்பார்ப்பது மிகையாகும்.

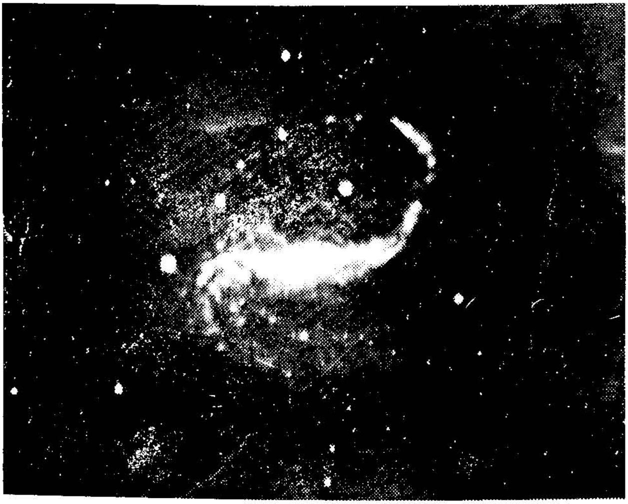
அலை எழுச்சிக் கோட்பாடுகள்

1898ஆம் ஆண்டில் டபிள்யூ. எஃப். ஸெட்ஜ்விக் என்னும் கேம்பிரிட்ஜைச் சேர்ந்த ஒரு கணக்கறிஞர் பொருள்களின் மோதலுக்குப்

Mt Wilson Observatory

பேரலை விளைவைக் குறிக்கும் இரண்டு நெபுலாக்கள்
(N.G.C. 4395, 4401)

ஒளிப்படம் XXX



Mt Wilson Observatory

நெபுலா N.G.C. 7479

பதிலாக, அலை எழுச்சியின் (tidal action) அடிப்படையில் ஒரு கோட்பாட்டை விடுத்தார். இதன்படி, அருகில் செல்லும் ஒரு விண்மீனின் அலை எழுச்சிச் செயலின் காரணமாக ஞாயிற்றிலிருந்து கோள்கள் பிரிக்கப்பட்டன என்று கருதினர். 1901-ல் நான் தனிப்பட்ட ஒரு கோட்பாட்டு ஆராய்ச்சியை (speculation) விடுத்தேன். இதைத் தவிர மூன்றாவது கோட்பாட்டாராய்ச்சி, சிகாகோ (Chicago) பல்கலைக் கழகத்தைச் சேர்ந்த சேம்பர்லின், மூல்டன் என்ற பேராசிரியர்களால் கொடுக்கப்பட்டது. இவர்கள், இப்பொழுது ஞாயிற்றில் காணப்படும் வெடிப்புகளைப்போல் (eruptions) வெகுகாலத்திற்குமுன் இதில் இன்னும் அதிக முனைப்பான வெடிப்புகள் ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்றும், அந்த நேரத்தில் அந்தப் பக்கம் சென்றுகொண்டிருந்த விண்மீன் இந்த வெடிப்புகளை அதிகப்படுத்தி, இதனால் சட்டென வெளியிடப்பட்ட வாயு ஞாயிற்றின் வளிமண்டலத்தை ஊடுருவிக் கிளம்பி, கடைசியில் 'பிளானடெஸிமல்ஸ்' (planetesimals) என்று சொல்லப்படும் கெட்டிப் பொருள்களாகச் சுருங்கிவிட்டன என்றும் கருதினர்கள். இவைகள் முதலில் சிறியனவாக இருந்தாலும் கடைசியில் ஒன்றுசேர்ந்து இப்பொழுதுள்ள (பெரிய) கோள்களாக மாறிவிட்டன. ஆனால், பிளானடெசிமல் அளவில் சட்டென வெளிவரும் வாயு கெட்டிப் பொருள்களாகச் சுருங்காது. இவைகளினுள்ளிருக்கும் வாயுவின் அமுக்கல் இவைகளை விரிவடையச் செய்து கடைசியில் லாப்லாஸின் கோட்பாட்டில் (பக்கம் 272) உள்ளபடி சிறு துளிகளாக மாறி வான வெளியில் மறைந்துவிடும்.

இந்தக் கோட்பாடுகள், ஆராய்ச்சிக் கோட்பாடுகளே தவிர கணித வகையில் சிறப்பு வாய்ந்தவை அல்ல. மேலும், ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் முக்கியமான தன்மைகளை விளக்கக்கூடிய அளவு சிறப்பாகவும் இல்லை. ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தில் பெரிய கோள்களைச் சுற்றித் துணைக் கோள்கள் இருப்பதற்குக் காரணம் என்னவென்பதை மேற்கூறிய கோட்பாடுகள் விளக்கவில்லை.

நான், 1916ஆம் ஆண்டில் ஞாயிற்றை இரண்டாவது விண்மீன் ஒன்று அணுகினால் என்ன நிகழ்ச்சிகள் ஏற்படும் என்பதை ஆராய்ந்தேன். இந்த இரண்டாவது விண்மீனின் அலை எழுச்சியினால் ஞாயிறே பிளக்கப்பட்டு (புதிய) கோள்கள் குடும்பமொன்றை ஏற்படுத்திவிடும் என்று அறிந்தேன். வெடிப்பு, பிளானடெசிமல்ஸ் என்ற இடைப் பொறி நிகழ்ச்சிகள் (mechanisms) தேவையில்லை. இப்பொழுது நடக்கக்கூடிய நிகழ்ச்சிகள் பின்வருமாறு.

சந்திரன் அண்மையில் உள்ளதனால் நம்முடைய வளிமண்டலத்திலும், பெருங்கடலிலும், புவியைப்போன்ற திடப்பொருள்களிலும்

அலை எழுச்சியை உண்டாக்குகிறது. இதேபோல் வாயுவாக உள்ள ஞாயிற்றின்மேல் இரண்டாவது விண்மீன் அலையெழுச்சியை உண்டாக்குகிறது. சந்திரனால் உண்டாக்கப்பட்ட அலை எழுச்சி மிகக் குறைவாக இருக்கும். ஏனென்றால், சந்திரன் புவியைவிடச் சிறியது. மேலும், இது புவியிலிருந்து அதிக தூரத்தில் (புவியின் அரைவிட்டத்தைப்போல் 60 மடங்கு தூரத்தில்) உள்ளது. அலை எழுச்சியின் குறைவு, தூரத்தின் மூன்றும் அடுக்குக்கு விகிதப் பொருத்தத்தில் இருக்கும். ஆனால், இரண்டாவது விண்மீன் ஞாயிற்றைப்போன்று பெரியதாக இருந்தால், இதன் விட்டத்தைப்போல் மூன்று மடங்கு விட்டதூரத்தில் இருக்கும்பொழுதே அதிக அலை எழுச்சியை ஏற்படுத்தி விடும். கணக்கிட்டுப் பார்த்தால், இந்த எழுச்சி, புவியின் மேல்புறம் உயர்த்தப்பட்டதுபோல் அல்லாமல், ஞாயிற்றில் ஒரு வாயு மலை உருவாகி, இரண்டாவது விண்மீன் நெருங்கிவர இந்த வாயு வளர்ந்து கடைசியில் வாயுவினாலான ஒரு நீண்ட நாக்காக வெளிக்கிளம்பும் (dart)—ஞாயிற்றிலிருந்து, இரண்டாம் விண்மீனின் ஈர்ப்புவிசையினால் இழுக்கப்படும்.

ஈர்ப்பின் நிலையாமையின்படி, ஒரு வாயுத் தூண் (அதிக அளவில் இருந்தாலன்றி) நிலையற்ற பொருளாகும். ஆகையினால், ஏற்கெனவே சொன்னபடி (பக்கம் 243) இந்த நீண்ட வாயு நாக்கு சுருங்க ஆரம்பித்து விடும். முன்சொன்னபடி சிறிய சுருங்கல்கள் அழிந்து, பெரிய சுருங்கல்கள் வளர்ந்து கடைசியாகத் தனித்தனி பொருண்மைகளாகப் பிரிந்து விடும். இந்தச் சுருங்கல்களின் பொருண்மை, 245ஆம் பக்கத்தில் விளக்கப்பட்ட கணக்கீட்டு முறைப்படி, இப்பொழுது ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தில் உள்ள கோள்களின் பொருண்மை அளவிருக்கும். இதனால் இவைகளைக் கோள்கள் என்றே அழைப்போம். ஒளிப்படம் XXIII (பக்கம் 82), ஒளிப்படம் XXIX (பக்கம் 274) இவைகளில் காட்டப்பட்ட நெபுலா ஜோடிகள் அலையெழுச்சி வசப்பட்டவைகளாக இருக்கின்றன. ஆகையினால், இந்த நெபுலாக்கள் நம்முடைய முறையின் பொதுத் தன்மையை விளக்கமுறச் செய்யும். இந்த வளர்ச்சிமுறை, ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் அளவைவிட மிகப் பெரிய அளவில் உள்ளது—அப்படியில்லையானால், இதைத் தொலைநோக்கியின்மூலம் காணமுடியாது.

ஊழிக்கூளம் (Cataclysmic Débris)

புதிதாகப் பிறந்த (மேற்சொல்லியபடி) கோள்கள் இயங்கிச்செல்லும் பொழுது, இரண்டு விண்மீன்களும் ஈர்ப்புவிசையினால் இவைகளை இழுக்க, இவைகளின் சுற்றுப்பாதை (முதலில்) சிக்கலான அமைப்பில் இருக்கும். படிப்படியாக, பெரிய விண்மீன் அகன்று, இந்தக் கோள்களின் சுற்றுப்பாதைகள், சிறிய விண்மீனைச் (இரண்டினில் சிறிய) சுற்றி அமையும். ஒன்றுமில்லாத (சூன்யமான) வானவெளியில் இந்தக்

கோள்கள் இயங்குவதால், இவைகளின் சுற்றுப்பாதைகள் நீள்வட்டங்களாக இருக்கும். ஆனால், நடந்த பெரிய ஊழிப்புரட்சியினால் (cataclysm) கூளங்கள் பின்தங்கியிருக்கும். ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தில் இன்னும் இருக்கும் வால்மீன்கள், எரிமீன்கள் (meteors), ஏனைய சிறுபொருள்கள் இந்தக் கூளத்தின் ஒரு சிறிய பகுதியாக இருக்கலாம். எஞ்சியுள்ள பெரும்பகுதி தூள்களாகவும், வாயுவாகவும் இருந்திருக்கவேண்டும். ஆகையினால், புதிதாகப் பிறந்த கோள்கள் இவைகளை எதிர்த்துச் சென்றிருக்கவேண்டும். இதனால், இவைகளின் சுற்றுப்பாதைகள் சரியான நீள்வட்டங்களாக இருக்க முடியாது. இந்தமாதிரியான எதிர்ப்பு போதிய கால அளவில் இருந்தால், மேற்சொல்லிய நீள்வட்டங்கள், சரியான வட்டங்களாக மாறிவிடும் என்று நிரூபிக்கலாம்.

தூள், வாயு ஆகிய கூளங்கள் நாளடைவில் மேற்கூறப்பட்ட கோள்களினால் துடைத்தழிக்கப்பட்டு, முற்றிலும் மறைந்துவிடும். இதனால், இந்தக் கோள்களின் சுற்றுப்பாதைகள் ஏறக்குறைய வட்டங்களாக அமையும். இதுதான் ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் உண்மை மூலம் (true origin) என்று வைத்தால், முதலில் ஏற்பட்ட கூளங்களில் ஒரு துளிகூடப் பின்தங்காது. அப்படி ஏதாவது இருந்தால், வானவட்ட ஒளியின் (zodiacal light) இருப்பிற்கு மூலகாரணமாக உள்ள துகள் தூசிகளாக (particles of dust) இருக்கவேண்டும். இருந்தாலும், எதிர் இடைநிலைப்பொருள் (resisting medium) கோள்களின் சுற்றுப்பாதைகளையும், துணைக்கோள்களின் சுற்றுப் பாதைகளையும் கிட்டத்தட்ட வட்டவடிவமாக்கும்வரை கால அளவில் நீடித்திருக்கவேண்டும்.

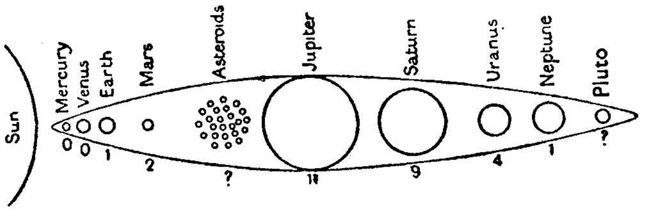
இதற்கு விலக்காக உள்ள நிலை, ஆதாரமாக உள்ள நிலையைப் போலவே குறிப்பிடத்தக்கதாகும். எப் பகுதியில், எதிர் இடைநிலைப்பொருள் மெல்லியதாகப் பரவியுள்ளது என்று நினைக்கிறோமோ அதே பகுதியில் நீள்வடிவப் பாதைகள் இருக்கின்றன—ஞாயிற்றுக் குடும்பம், துணைக்கோள் குடும்பம் இவைகளின் வெளி எல்லைகளில். எல்லாவற்றையும்விட வெளிப்புறத்தில் உள்ள புளூடோவின் சுற்றுப் பாதை மற்றவைகளை விடச் சற்று நீளமாக உள்ளது. வியாழன், சனி இவைகளின் துணைக்கோள் குடும்பங்களில், மூலக் கோள்களிலிருந்து (primary) (மற்றவைகளைவிட) அதிக தூரத்தில் உள்ள துணைக்கோள்களின் சுற்றுப்பாதைகள் சற்று நீண்டு உள்ளன. இதைத்தவிர சிறிய பொருண்மையுடைய கோள்கள் அல்லது துணைக் கோள்கள் ஆகியவற்றின் சுற்றுப்பாதைகளும் நீண்டு உள்ளன. புவியின் பொருண்மையில் 25-ல் ஒரு பங்கை உடைய புதனின் சுற்றுப் பாதை சற்று நீண்டு உள்ளது. இதைவிடக் குறைந்த நீளத்தை (elongation) உடையது ஞாயிற்றின் பொருண்மையில் 9-ல் ஒரு

பங்குள்ள செவ்வாயின் சுற்றுப்பாதை. ஜெஃப்ரீஸ் என்பவர் இதற்கு ஒரு விளக்கத்தைக் கொடுத்திருக்கிறார். பெரிய கோள்களான வியாழனும், சனியும் எதிர் இடைநிலைப்பொருளில் அதிக அளவு அவைகளோடு எடுத்துச்செல்லும். இது வானவெளியில் வெகுதூரத்திற்குப் பரவியுள்ள ஒரு சூழ்பொருளாக (envelope) அமையும். இந்தச் சூழ்பொருளும், இடைநிலைப்பொருளும் அவைகளின் இடை விளைவின் காரணமாகப் பெரிய கோள்களின் இயக்கத்தைத் தடுத்து இவைகளின் சுற்றுப்பாதைகளைச் சிறிய கோள்களைவிட விரைவில் வட்ட வடிவமாக்கிவிடும். இதேபோல் (வேண்டிய திருத்தங்களுக்குட்பட்டு) துணைக்கோள் குடும்பத்திலும் சுற்றுப்பாதை அமைப்பு மாறும் (பக்கம் 279).

கோள்களின் சுற்றுப்பாதை இடைநிலைப் பொருளின் காரணமாக எப்படி உருவத்தில் மாறும் என்பதனை ஜெஃப்ரீஸ் என்பவர் கணக்கிட்டிருக்கிறார். இந்தப் பிரச்சினையின் விவரங்கள் தெளிவற்றதாக இருப்பதனால் அவருடைய முடிவுகளையும் பாதிக்கின்றது. ஆனால், அவருடைய ஆராய்ச்சி, கோள்களின் வயதைப்பற்றிய இதர மதிப்புகளை (estimates) உறுதிப்படுத்துகின்றது (பக்கம் 175).

கோள்களின் படிமுறை வளர்ச்சி (Planetary Evolution)

அடுத்தபடியாக, கோள்களை பாதிக்கும் பௌதிக மாறுபாடுகள் யாவை என்பதைக் காண்போம். ஞாயிற்றிலிருந்து இழுக்கப்பட்ட நீள்பொருள் இழை (filament of matter) நடுப்புறத்தில் அடர்த்தியாக இருக்கும். ஏனென்றால், இந்தப் பகுதி, இரண்டாம் விண்மீன் அண்மையில் இருந்து இதை இழுக்கும்பொழுது பிரிந்திருக்க



படம் 22. சுருட்டு வடிவத்தில் உள்ள வாயுவினின்று கோள்கள் தோன்றும் முறையைக் காட்டும் படம். ஒவ்வொரு கோளின் அடியில் அதன் துணைக் கோள்கள் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

வேண்டும். படரீதியாக இதை ஒரு சுருட்டு வடிவமாகக் கருதலாம்—நடுவில் பருமனாகவும், ஓரங்களில் மெல்லியனவாகவும்—ஆகையினால் சுருங்கல் ஆரம்பிக்கும்பொழுது நடுப்புறத்தில் அதிகப் பொருள்

சேரும். இதனால்தான், கோள்களின் வரிசையில் வியாழனும், சனியும் நடுப்புறத்தில் இருக்கின்றன.

22ஆம் படத்தில் கோள்கள், ஞாயிற்றிலிருந்து அவைகளின் தூரத்தின்படி காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. இவைகளின் உருவங்களும், ஏறக்குறைய, அளவுகோலின்படி வரையப்பட்டிருக்கின்றன. செவ்வாய்க்கும், வியாழனுக்கும் இடையில் சுற்றிவரும் சிறு கோள்கள் எல்லாவற்றையும் ஒரே விண்மீனாகக் காட்டப்பட்டிருக்கின்றது. ஏனென்றால், இந்தச் சிறு கோள்கள் எல்லாம் ஒரே கோளிலிருந்து பின்வருமாறு பிரிந்திருக்கவேண்டும் என்று கொள்ளலாம். கோள்களைச் சுற்றி ஓர் இடைவிடாத எல்லைக்கோட்டை (outline) வரைவோம். அப்பொழுது மேற்சொன்ன சுருட்டு வடிவம் நம் மனத்திற்குத் தெளிவாகும். இதிலிருந்து, எங்கெல்லாம் அதிகப் பொருள் சேர்ந்துள்ளதோ அங்கே தான் பெரிய கோள்கள் உற்பத்தியாயின என்பது தெளிவாகும்.

புளூடோ கண்டுபிடிக்கப்படுவதற்குப் பல ஆண்டுகளுக்கு முன்பே மேற்கூறிய அலையெழுச்சிக் கொள்கை (tidal theory) வெளியிடப்பட்டது. இந்த எடுகோளின் உண்மைக்கிணங்க புளூடோ அமைந்திருக்கிறது.

துணைக்கோள்களின் பிறப்பு (Birth of Satellites)

கோள்களின் எடைகளுக்கும், ஞாயிற்றின் எடைக்கும் உள்ள பெரும் வித்தியாசம் ஞாயிறு–கோள்கள் அமைப்பைச் சாதாரண இரட்டை விண்மீன்களின் அமைப்பிலிருந்து வேறுபடுத்துகிறது. இதனால், இந்த இரண்டு அமைப்பும், இரண்டு தனி மூலங்களிலிருந்து ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்று தோன்றுகிறது. இதேமாதிரியான வேறுபாட்டைக் கோள்-துணைக்கோள் குடும்பங்களிலும் காணலாம். கோள்களைவிட இவைகளின் தாயாகிய ஞாயிறு அதிகப் பொருண்மையுடையதாக இருப்பதுபோல், இவை (கோள்கள்) தங்களுடைய குழந்தைகளாகிய துணைக்கோள்களைவிட அதிகப் பொருண்மையுடையவைகளாக இருக்கும். ஞாயிறு, இந்தக் கோள்களில் அதிகப் பொருண்மையுடைய கோளைப்போல் 1047 மடங்கும், குறைந்த பொருண்மையுடைய கோளைப்போல் 6,000,000 மடங்கும் பொருண்மை உடையதாகும். சனியின் குடும்பத்தில் இந்த எண்ணிக்கைகள் முறையே 4150, 16,000,000 ஆகும். பொருண்மையில் ஏறக்குறைய சமநிலை வேண்டுமென்றால் பூமி, சந்திரன் குடும்பத்தை எடுத்துக் கொள்ளலாம். பூமியின் பொருண்மை சந்திரனுடையதைப்போல் 81 மடங்காகும். ஞாயிற்றின் குடும்பத்தில் உள்ள கோள்களைப்போல், குறைந்த அளவில் சனி, வியாழன் இவைகளின் துணைக்கோள்களின் பொருண்மைகள் இந்தக் கோள்களினின்று வெளிப்புறமாகச் செல்லும்

பொழுது ஓர் உச்சவரம்பை அடைந்து, பிறகு குறைய ஆரம்பிக்கின்றன. இது நடுப்புறத்தில் அதிகப் பொருண்மையுடைய சுருட்டு வடிவத்திலிருந்து ஏற்படும் அமைப்பை மறுபடியும் தோற்றுவிக்கிறது. இது முதற்கோள், துணைக்கோள் இவைகளுக்கான பொருண்மை வித்தியாசத்தைத் தவிர, துணைக்கோள்கள் அவைகளின் பெற்றோரான கோள்களின் தோற்றமுறைப்படியே தோன்றியிருக்க வேண்டும் என்பதனை வலியுறுத்துகிறது.

இந்த முறையை ஒரு பொதுப்படை வகையில் நினைத்துப் பார்க்கலாம். கோள்கள் பிறந்த உடனே குளிர்ச்சி அடையவேண்டும். வியாழன், சனி இவைகளைப்போன்ற பெரிய கோள்கள் மிக நிதானமாகவும், சிறிய கோள்கள் மிக விரைவாகவும் குளிர்ச்சி அடையும். இருப்பதற்குள்ளேயே மிகச்சிறிய கோள்கள், பிறந்த உடனேயே முதலில் திரவங்களாகி, பிறகு கெட்டிப்பொருள்களாக மாறிவிடும். இந்த நிகழ்ச்சிகள் நடந்துகொண்டிருக்கும்பொழுதே, கோள்கள் ஒழுங்கற்ற பாதைகளில் சுற்றிக்கொண்டிருக்கும். அப்பொழுது அவை, ஞாயிற்றின் அண்மையில் செல்வதனால், இரண்டாம் அலை எழுச்சித் தகர்வு (tidal disruptions) ஏற்படும். இந்த நிலையில் முதலில் அவ்வழியே கடந்து செல்லும் விண்மீனைப் (passing star) போலவே ஞாயிறு நடந்துகொள்ளும். கோள்கள் ஞாயிற்றைப்போல் நடந்துகொள்ளும். ஞாயிறு, கோள்களிலிருந்து பொருளை இழைகளாகப் பிரித்தெடுத்து, இவை இந்தக் கோள்களின் துணைக்கோள்களாகச் சுருங்கிவிடும். இம்மாதிரியான முறையில்தான் துணைக்கோள்கள் ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்று அலை எழுச்சிக் கொள்கை தெளிவுபடுத்துகிறது.

கணக்கு முறைப்படி, ஒரு கோள் பிறக்கும்பொழுது எவ்வளவுக்கெவ்வளவு திரவமாக இருக்கின்றதோ அவ்வளவு, வாயு வடிவத்தில் இருக்கும் ஞாயிறு இதைப் பிரிக்கமுடியாத நிலையில் இருக்கும். அப்படிப் பிரித்தாலும், இதிலிருந்து உண்டாகும் முதற்கோள், துணைக்கோள் இரண்டும் பொருண்மை அளவில் ஒன்றுக்கொன்று ஏறக்குறைய சமமாக இருக்கும். ஆனால், இந்தக் கோள் சிறிது வாயு வடிவத்தில் இருந்தால் மேற்கூறிய பொருண்மைகள் சமமாக இருக்காது. ஆகையினால், முற்றிலும் வாயுவாக இருக்கும் கோள்களைப்பற்றியும், பிறந்த உடனேயோ, சற்றுப் பிறகோ திரவமாக அமைந்த கோள்களைப்பற்றியும் ஆராய்ந்தால், முதலில் அநேக சிறிய துணைக்கோள்களை உடைய கோள்களையும், படிப்படியாகச் சென்று ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையை அடைந்த பிறகு (குறைந்த எண்ணிக்கையில்) பெரிய துணைக்கோள்களையுடைய கோள்களையும், கடைசியில் துணைக்கோள்களே இல்லாத கோள்களையும் எதிர்பார்க்கலாம்.

நடுப்புறத்தில் உள்ள பெரிய கோள்களான வியாழனும், சனியும் வெகுகாலம் வாயு உருவத்தில் இருந்திருக்கவேண்டும் என்பதையும், இவைகளைவிடச் சிறிய கோள்கள், முதலில் திரவங்களாக இருந்திருக்க வேண்டும் என்றும் ஏற்கெனவே பார்த்தோம். இந்தக் கோட்பாட்டின் முடிவுகள், ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தில் காணப்படும் உண்மைகளுக்குத் தகுந்த விளக்கத்தைத் தருகின்றன. பதினொன்று துணைக்கோள்களையும், ஒன்பது துணைக்கோள்களையும் உடைய வியாழன், சனி இவைகளை முதலில் எடுத்துக்கொண்டால் இவைகளுக்கு அடுத்து வருவது இரண்டு துணைக்கோள்களையுடைய செவ்வாயாகும். இதற்கடுத்துள்ளது, பெரிய துணைக்கோளையுடைய பூமியாகும். இதற்கும் அடுத்தாற்போல் உள்ளது துணைக்கோள்களே இல்லாத வெள்ளியும், புதனுமாகும். மற்றொரு திசையில் (வெளிப்புறம்) நான்கு சிறிய துணைக்கோள்களையுடைய யுரேனஸும், ஒரு பெரிய துணைக்கோளையுடைய நெப்டியூனுமாகும். 22-ஆம் படத்தில் கோள்களுக்கு எதிரே கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் எண்கள் அவைகளின் துணைக்கோள்களின் எண்ணிக்கைகளைக் குறிக்கின்றன. எண்களை இந்த முறையில் காண்பிக்கும் பொழுது, துணைக்கோள்களின் அமைப்பின் விதியும், ஒழுங்கு முறையும் எளிதாகப் புலப்படும். இஃது அலை எழுச்சிக் கொள்கையையொட்டி இருக்கும். சுருட்டு உருவ அமைப்பு, கோள்களின் பரிமாணங்களுக்கு மட்டுமன்றி, அவைகளின் துணைக்கோள்களின் எண்ணிக்கைகளுக்கும் பொருந்தியதாக இருக்கும். ஒரு பெரிய துணைக்கோளையுடைய பூமியும், நெப்டியூனும், முதலில் திரவமாக இருந்த கோள்களுக்கும், வாயு உருவமாக இருந்த கோள்களுக்கும் மத்தியில் ஓர் எல்லைக்கோடாக (demarcation line) அமையும். இதிலிருந்து புதன், வெள்ளி, புளூடோ என்ற கோள்கள் தோன்றிய உடன் திரவங்களாகவோ அல்லது கெட்டிப்பொருள்களாகவோ இருந்திருக்கவேண்டும் என்று ஊகிக்கலாம். புவியும், நெப்டியூனும் ஒரு பகுதி திரவமாகவும், மற்றொரு பகுதி வாயுவாகவும், செவ்வாய், வியாழன், சனி, யுரேனஸ் இவை வாயுவாகவே தோன்றி, அவைகளின் துணைக்கோள் குடும்பம் பிறக்கும்வரை வாயுவாகவே இருந்திருக்கவேண்டும் என்றும் ஊகமாக அறியலாம்.

செவ்வாயும், யுரேனஸும், அவைகளின் வரிசை இடத்திற்கு ஏற்பச் சிறியனவாக இருக்கின்றன என்பது அலை எழுச்சிக் கொள்கையை உறுதி செய்கின்றது. நாம் நினைத்தபடி, கோள்களெல்லாம் பொருளின் தொடர்ச்சி இழையினுல் ஏற்பட்டவையானுல், செவ்வாயின் பொருண்மை புவியின் பொருண்மை அளவிற்கும், வியாழனின் பொருண்மை அளவிற்கும் மத்தியில் இருக்கவேண்டும். யுரேனஸ் என்ற கோளின் பொருண்மை நெப்டியூன், சனி இவைகளின் பொருண்மை அளவுகளுக்கு இடையிலுள்ளதாக இருக்கவேண்டும்.

ஆனால் செவ்வாய், யுரேனஸ் என்ற விலக்கான (anomalous) கோள்கள் வாயு உருவில் தோன்றிய கோள்களில் மிகச்சிறியவைகளாக இருந்தால், அவைகளின் வெளிப்புற மாலிகியூல்கள் பிரிந்து அழிவதனால் அதிகப் பொருளை இழக்க நேரிடும். இஃது, அவை குளிர்ச்சியினால் திரவங்களாக மாறுவதற்கு முன் நிகழும். செவ்வாயும், யுரேனஸும், இப்பொழுதுள்ள பொருண்மையைவிட அதிகப் பொருண்மையை உடைய கோள்களின் சிதைந்த பகுதிகளாக (relics) நினைத்தால் இந்த விலக்கு நீங்கி (ஒரு புதிரில் உள்ள பல பகுதிகள் ஒழுங்காகச் சேர்வது போல்) நம்முடைய கொள்கையும் முரண்பாடில்லாமல் அமையும்.

சுற்றுப்பாதை தளம் (Orbital Planes)

சுழலும் ஒவ்வொரு பொருளும், வாயுவாகிலும், திரவமாகிலும், கெட்டிப் பொருளாகிலும், ஒரு குறிப்பிட்ட சுழல் மையக்கோடுடையதாக (axis of rotation) இருக்கும். இதற்குச் செங்குத்தாகப் பொருளைச் சரியானபடி இரண்டு சம பகுதிகளாகப் பிரிக்கும் மத்திய மட்டதளம் அமையும். சுழற்சியினால் அந்தப் பொருள் இரண்டாகப் பிரிக்கப்படும் பொழுது, மத்திய மட்டதளமும், செவ்வொழுங்கும் (symmetry) (கலையாமல்) அப்படியேயிருக்கும். இதற்கு உதாரணங்களை, ஒளிப் படம் XI (பக்கம் 30) ஒளிப்படம் XXI (பக்கம் 80) இவைகளில் உள்ள சுழலும் நெபுலாக்களின் ஒளிப்படங்களில் காணலாம். நம்முடைய எளிய வாழ்க்கையில் மேற்கூறிய முறை ஒரு சைக்கிளின் (bi-cycle) சுழலும் சக்கரங்களிலிருந்து சேறு அந்தச் சக்கரத்தின் தளத்திலேயே (plane) தெறிப்பதுபோலாகும்.

ஞாயிற்றின் மத்திய மட்டதளம், ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் செவ்வொழுங்கு தளமாக (plane of symmetry) இருந்தால், இந்தக் குடும்பம் ஒரு சுழல் பிரிவினால் (rotational break-up) ஏற்பட்டதென்று சொல்லலாம். ஆனால், ஞாயிற்றின் மத்திய மட்டதளம் ஒரு செவ்வொழுங்கு தளமன்று. கோள்கள் இதில் இயங்கவில்லை. இந்தத் தளத்தோடு 5 அல்லது 6 டிகிரிகள் சாய்மானத்தில் உள்ள தளங்களில் தான் இயங்குகின்றன. நம்முடைய எளிய உதாரணத்தின்படி, சேறு, சைக்கிளின் சக்கரம் சுழலும் தளத்தில் தெறிக்கப்படவில்லை.

ஆகையினால், ஞாயிற்றின் சுழல் பிரிவினால் கோள்கள் தோன்றின என்ற கோட்பாடு முறிந்துவிடுகிறது. ஆனால், அலை எழுச்சிக் கொள்கை இதற்கு ஓர் எளிய விளக்கம் தருகிறது. ஞாயிறு, கோள்கள் பிறப்பதற்குமுன் எப்படிச் சுழன்றுகொண்டிருந்ததோ அதேபோல் இப்பொழுதும் சுழன்றுகொண்டிருக்கின்றது. ஆகையினால், முதலில் இருந்த மத்திய மட்டதளம் அப்படியே உள்ளது. இதற்கு மாறான, அல்லது இதற்கு அருகில் (சற்று சாய்மானத்தில்) உள்ள கோள்

களின் சுற்றுப்பாதை தளம், விண்மீனுல் இழுக்கப்பட்ட அலை எழுச்சி இழையின் தளமாக இருந்திருக்கவேண்டும். இதன்படி, (எல்லாக் கோள்களுக்கும்) வெளிப்புறத்தில் உள்ள கோள்களின் சுற்றுப்பாதை தளம், முன்சொன்ன இரண்டு விண்மீன்கள் ஒன்றை ஒன்று சுற்றிய தளமாக இருக்கவேண்டும்—அதாவது ஞாயிறும், அதன் வாழ்க்கைக் கூட்டாளியும் 3000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குமுன் சுற்றிய தளம். இவ்வளவு ஆண்டுகளுக்குப் பிறகு அந்தக் கூட்டாளியின் இருப்பிற்கான ஆதாரம் இஃது ஒன்றுதான். ஆனுல், இது கண்டுபிடிக்கக் கூடியதன்று.

ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் பிறப்பிற்கும், அதன் படிமுறை வளர்ச்சிக்கும் ஒரு விளக்கமாக அமையும் அலை எழுச்சிக் கொள்கை இவ்வாறே அமையும். ஆனுல், அண்டத்தின் படிமுறை வளர்ச்சியைச் சித்திரிக்கும் படத்தில் இஃது ஒரு மூலையில் இருக்கிறது.

5ஆம் அதிகாரத்தில், மெல்லிய பொருளாக இருந்த நெபுலாக்களிலிருந்து சுருங்கல்களினுல் விண்மீன்கள் முதலில் தோன்றியிருக்க வேண்டும் என்ற ஊகக்கோட்பாட்டை ஆராய்ந்தோம். இவை இன்னும் சுருங்கிய அளவில் இப்பொழுது இருக்கின்றன.

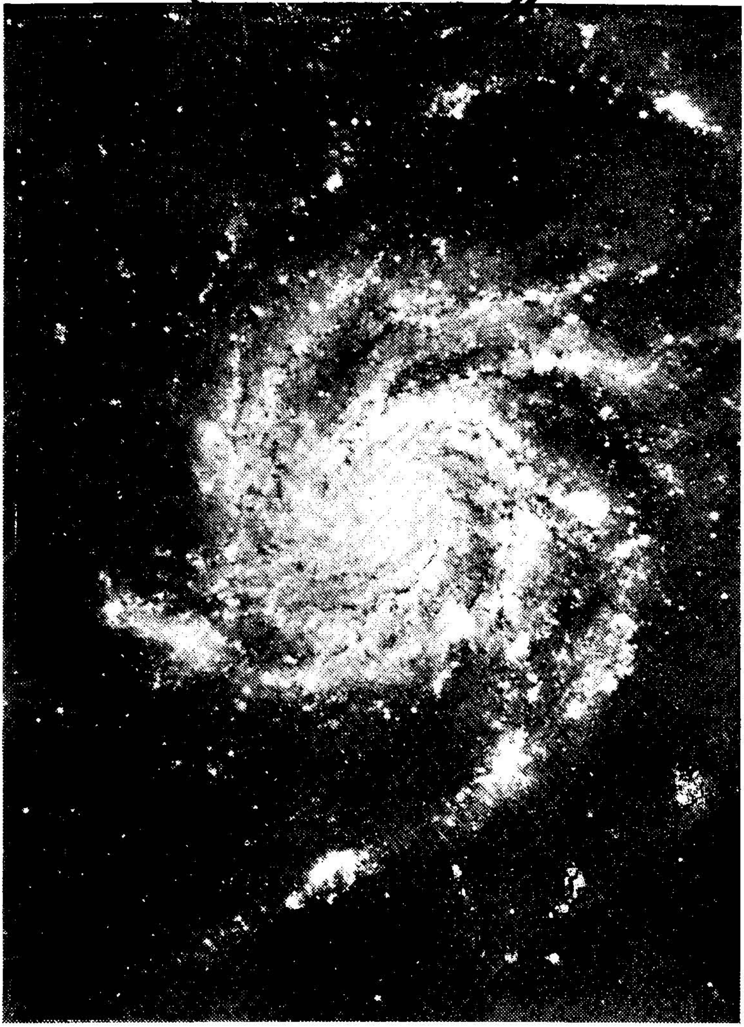
இவைகளின் வரலாற்றைப்பற்றிக் குறிப்பிடவேண்டுமானுல், இவை முதலில் தனித்தனியே வானத்தில் அலைந்தன என்றும், இதனுல் எப்பொழுதாவது இரண்டு விண்மீன்கள் ஒன்றுக்கொன்று அண்மையில் இயங்க நேரிட்டு, மேற்சொன்ன முறையில் கோள் குடும்பங்களைத் தோற்றுவித்திருக்கும் என்றும் சொல்லவேண்டும். வெகு நாட்களாகவே, புதிதாகத் தோன்றிய விண்மீன்களின் சுருக்கம் மிகத் துரிதமாக இருப்பதனுல், இது நிகழும்பொழுதே, இதிலிருந்து கோள்கள் உற்பத்தியாவது இயலாததாகும் என்று நினைத்தார்கள். ஆனுல், இந்த விண்மீன்கள் அவைகளின் பெரிய அளவின் காரணமாகவும், மெல்லிய தன்மையினுலும் அலை எழுச்சிக்கு இலக்காகின்றன. ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தைத் தள்ளுபடி செய்துவிட்டபோதிலும், மீதியுள்ள கோள்களின் குடும்பங்களில் பெரும்பான்மையானவை, மேற்கூறிய வகையைச் சேர்ந்த அலை எழுச்சியின் காரணத்தினுல்தான் ஏற்பட்டிருக்க வேண்டும். இவைகளில் பெரும்பான்மையானவை, இவற்றின் ஞாயிறுகள் அரை நெபுலாக்களாக (semi-nebulae) இருக்கும்பொழுது ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும். இது முற்றிலும் புள்ளியியல் கணக்கீட்டு முறையால் தெளிவுபடும். நம்முடைய ஞாயிற்றுக் குடும்பமும் இதே போல்தான் ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்பதற்குத் தகுந்த ஆதாரம் இருக்கின்றது. ஏனென்ருல், ஞாயிறு அது பிறக்கும்பொழுது இருந்த அளவு பெரிதாகவே இப்பொழுதும் இருக்கின்றது. இதைத் தவிர வேறு எந்தக் கோட்பாடும் ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் பரந்த அளவை

விளக்கமுடியாது. ஞாயிறு, அஃது இப்பொழுதுள்ள அளவிற்குச் சுருங்குவதற்குமுன் கோள்கள் தோன்றியிருந்தால், புளூடோவை அதன் சுற்றுப்பாதைக்கு எடுத்துச் செல்ல ஒரு விசையும் இருக்காது. இதைத்தவிர, யாதொரு செயற்கருவியும் (agency) கோள்களைச் சுழலச் செய்யாது.

வெகுநாட்களாகவே, இப்பொழுதுள்ள கோள்களை, இப்பொழுது சுருங்கியிருக்கும் விண்மீன்களினால் ஆக்கப்பட்ட உருவங்கள் என்று நினைத்தார்கள். அப்பொழுது, இரண்டு விண்மீன்கள், கோள்களை உண்டாக்குவதற்காக அண்மையில் வருவது வெகு அரிதாகும். ஆகையினால், வானவெளியில் கோள்களின் குடும்பங்களைக் காண்பது மிக அரிது என்று கருதினார்கள். ஆனால், இப்பொழுது நாம் காண்பது பெரிய விண்மீன்கள் அதிக அளவில் ஒன்றை ஒன்று சந்தித்து நிறைய கோள் குடும்பங்களை உண்டாக்கியிருக்கின்றன என்பதேயாகும். ஏறக்குறைய அநேக விண்மீன்களோடு கோள்களும் சேர்ந்திருக்க வேண்டும். கோள் குடும்பத்தை உற்பத்தி செய்வதே ஒரு விண்மீனின் விதியாகும் என்று சொல்லமுடியாது. இது நாம் நினைக்கும் அளவு அசாதாரணமான ஒரு நிகழ்ச்சி அன்று. ஏனென்றால், பெரும்பான்மை யான விண்மீன்கள் இவ்வாறே செய்திருக்கின்றன. வானத்தில் விண்மீன்களின் எண்ணிக்கை ஏராளமாகையால்—புவியின் மொத்த மேற்புறத்திலும் உள்ள புல், இலைகளின் எண்ணிக்கைக்கு மேலாகும்—இவைகளிலிருந்து உற்பத்தியாகியிருக்கும் கோள் குடும்பங்களின் எண்ணிக்கையும் நினைக்கமுடியாத அளவில் பெரியதாக இருக்கும். இவைகளில் பல மிலியன்கள் ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தைப்போலிருக்கும். இந்தக் குடும்பத்தில் உள்ள கோள்களில் பல மிலியன்கள் நம் புவியைப் போலிருக்கும்.

ரோச் எல்லை (Roche's limit)

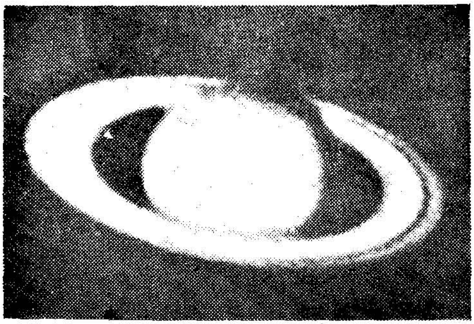
துணைக் கோள்கள் பிறந்த உடனேயே ஈர்ப்பு நிலையின்மை யின் (gravitational instability) ஆட்சி (விளைவு) முடிவடையும். ஏனென்றால், இதைவிடக் (துணைக் கோள்களைவிட) குறைந்த எடையை யுடைய வாயுப்பொருள்கள் சேர்ந்திருக்கமுடியாது. சரியான சந்தர்ப் பத்தில்கூட, மேற்கூறிய பொருள்களின் ஈர்ப்புவிசை மெல்லியதாக இருப்பதனால் வெளிப்புறத்தில் உள்ள மாலிகியூல்கள் கட்டுக்கடங்காமல் வானவெளியில் மறைந்துவிடும். ஆனால், சிறிய உருவங்களையுடைய வானப் பொருள்களும் உள்ளன. இவை, குட்டிக் கோள்கள், எரி மீன்கள் அல்லது வீழ்மீன்கள், மற்றும் சனியின் வளையங்களில் உள்ள துகள்களாகும். இவை வாயுப் பொருள்களாகத் தோன்றியிருக்கா விட்டாலும், பெரிய பொருண்மைகளிலிருந்து பிரிக்கப்பட்ட பகுதித் துண்டுகளாக (fragments) இருக்கவேண்டும். இதனால்தான் இந்தச்



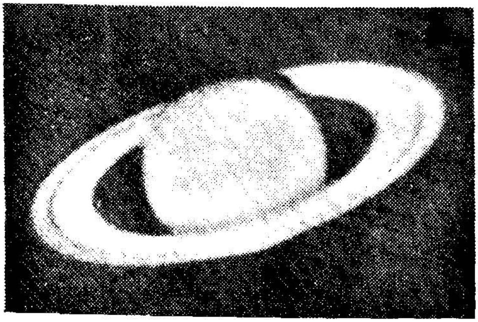
Mt Wilson Observatory

உர்ஸா மேஜரில் நெபுலா *M* 101

ஒளிப்படம் XXXII



1916 ஆம் ஆண்டில்



1917 ஆம் ஆண்டில்

Lowell Observatory

1921 ஆம் ஆண்டில்

சனியும் அதன் வளையங்களின் அமைப்பும்

சிறிய பொருள்கள் தனித்தனியாக இல்லாமல் கூட்டமாகவே இருக்கின்றன.

சிறு கோள்கள் ஒரே கூட்டமாக இருக்கின்றன. இவை ஞாயிற்றுக் குடும்பம் முழுவதும் பரவி இருந்தால், இவைகளின் மூலத்தைப் பற்றிய ஆய்வு ஒரு கடினமான ஆராய்ச்சியாகிவிடும். இப்பொழுதுள்ளபடி, இதை ஒரே கோளிலிருந்து பிரிக்கப்பட்ட பகுதித் துண்டுகள் என்று எளிதாக விளக்கிவிடலாம். சனியின் சந்திரனை இருந்த ஒரு பொருள் தகர்த்தெறியப்பட்டு, இதன் பகுதித் துண்டுகளே இப்பொழுதுள்ள சனியின் வளையமாகும் என்று சாதாரணமாக விளக்கி விடலாம். (இதுவரையிலும் நாம் குறிப்பிடாத) வால்மீன்களை, வெகு சிறிய பொருள்களின் கூட்டங்கள் ஈர்ப்புவிசையினால் ஒன்றாகச் சேர்க்கப்பட்டு ஓர் ஏற்றப்பாதையில் இயங்கும் வானப்பொருள்களாகக் கருதலாம். 1909ஆம் ஆண்டு ஆவி உருவத்திலிருந்த ஹாலி வால்மீன் (Halley's comet), 25 மைல்கள் விட்டத்தையுடைய ஒரு பொருள் எவ்வளவு ஒளியைத் திருப்புமோ அவ்வளவு ஒளியை ஞாயிற்றிலிருந்து திருப்புகிறது (reflects) என்று கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது. ஆனால், இந்த வால்மீனின் தோற்றப்புறம் (apparent surface) மேற்சொல்லிய பொருளின் தோற்றப்புறத்தைப்போல் 300,000 மடங்காகும். இஃது ஒளிபுகும் தன்மையது. ஆகையினால், மேற்சொன்ன முடிவின்படி, வால்மீன்களும் சிறிய பொருள்களின் (வெகுவாகப் பிரிந்து) கூட்டமாகும் (swarm of small bodies) என்பது பொருந்தும். இஃது ஒரே பொருண்மையிலிருந்து பிரிக்கப்பட்ட பகுதித் துண்டுகள் என்ற விளக்கப்படி அமையும்.

வீழ்மீன்களும் எரிமீன்களும் கூட்டங்களாக அமையும். இந்தக் கூட்டங்களின் இயக்கத்திலிருந்து இவை பிரிக்கப்பட்ட வால்மீன்களாகும் என்பதை அறியலாம். ஆகையினால், புவியின் வளிமண்டலத்தில் நுழையும்பொழுது, இந்த வால்மீன்களும், வீழ்மீன்களாகக் காணப்படும் எரிமீன்களும் ஒன்றாக இருக்கும். ஷேப்லியின் கணக்குப்படி புவியின் வளிமண்டலம் தினந்தோறும் பல ஆயிர மிலியன் வீழ்மீன்களைப் பிடிக்கின்றது. இவைகளுள் நூற்றுக்கு ஒன்றே நம் கண்களால் கண்டறியும்படியான வெளிச்சத்தையுடையதாக இருக்கின்றது. சாதாரணமாக, புவியின் மேற்புறத்தை அடைவதற்கு வெகுநேரம் முன்பே இவை ஆவியாகிவிடும். ஆனால், எப்பொழுதாவது இவைகளுள் ஒன்று பெரியதாக இருப்பதனால் புவியின் மேற்புறத்தினால் முற்றிலும் அழிக்கப்படாமல் சிறிய எரிமீன்களாக (meteorites) வீழ்கின்றன. ஒவ்வொரு வீழ்மீனையும், சிறிய எரிமீனையும் ஒரு சிறிய வால்மீனாகக் கருதலாம். ஒருசமயம், பல துண்டுப் பகுதிகளாலான ஒரு தொகுதி புவியின் வளிமண்டலத்தில் புகுந்து ஓர் 'எரிபந்து'போல் (fire ball) காட்சி அளிக்கும். பொதுவாக ஞாயிற்றுக் குடும்பத்திலுள்ள எல்லாச் சிறிய

உறுப்புகளும் கூட்டங்களாகவே செல்லும். ஆகையினால் இவைகளை, பெரிய பொருள்களின் பிரிவுப் பகுதிகளென்று (broken-up fragments) சொல்லலாம்.

பெரிய பொருள்கள், எரிமீன் கூட்டங்களாகப் பிரிக்கப்படலாம் என்பதை எளிதில் அறியலாம். அண்மையில் இயங்கும் ஒரு விண்மீனின் ஈர்ப்பு இழுப்பினால் ஞாயிறு பிளக்கப்பட்டு ஒரு கோள்குடும்பம் உற்பத்தியாகிறது என்று சொன்னோம். அண்மையில் இருக்கும் விண்மீன் நகராமல் அப்படியே இருந்தால் ஞாயிற்றின் நிலை என்னவாகியிருக்கும்? இந்த விண்மீன் ஞாயிற்றிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட தூரத்திலிருக்கும்வரை இதன் அலை எழுச்சிவிசை ஞாயிற்றைத் துண்டாக்கும். இதனால், இன்னும் அதிக நேரம் அந்த விண்மீன் அங்கேயே இருந்தால் ஞாயிறு இன்னும் அதிக அளவு பாதிக்கப்பட்டு இன்னும் பெரிய கோள்குடும்பம் உண்டாகும். கடைசியாக, வெகு நாட்களாக விண்மீன் அங்கேயே தங்கியிருந்தால் ஞாயிறு துண்டுகளாகப் பிளக்கப்படும்.

1850ஆம் ஆண்டில் இந்த அலை எழுச்சிப் பிளவின் கணக்குமுறை ஆய்வை ரோச் என்பவர் வெளியிட்டார். அவருடைய வாதம் கெட்டிப் பொருள்களுக்கும், திரவங்களுக்குமட்டுமே கொடுக்கப்பட்டாலும் இதன் நுட்பம் வாயுப்பொருள்களுக்கும், கெட்டிப் பொருள்களுக்கும், திரவங்களுக்கும் ஒரேமாதிரியாகத்தான் இருக்கும். ஓர் அலையெழுச்சி எதிர்ப்பில், இரண்டு பொருள்களில் சிறியதுதான் அதிகமாக பாதிக்கப்படும் என்று பார்த்தோம். ரோச் என்பவர் எடுத்துக் கொண்ட உதாரணத்தில் ஒருபொருள் மற்றொன்றைவிட மிகச் சிறியதாகும். இந்த நிலையில் சிறிய பொருள் முற்றிலும் பிளக்கப்பட்டு மற்றொன்று (பெரியது) அப்படியே இருக்கும். சிறிய பொருள், பெரிய பொருளைச் சுற்றி, படிப்படியாகச் சுற்றளவில் குறைந்துகொண்டேவரும் ஒரு சுற்றுப்பாதையில் செல்லும் என்று ரோச் நினைத்தார். இரண்டு பொருள்களும் ஒரே அடர்த்தியுடையனவாக இருந்தால், சிறிய பொருளின் சுற்றுப்பாதையின் அரைவிட்டம் பெரிய பொருளின் அரைவிட்டத்தில் 2·45 மடங்காக இருக்கும்பொழுது இந்தச் சிறிய பொருள் முற்றிலும் பிளக்கப்படும் என்று ரோச் கணக்கிட்டிருக்கிறார். இந்தப் பொருள்கள் வெவ்வேறு அடர்த்தியுடையதானால் நிலைமை சற்றுக் கடினமாக இருக்கும். பெரிய பொருளின் சராசரி அடர்த்திக்குச் சிறிய பொருளின் அடர்த்தி சமமாகும்வரை சுருங்கவேண்டும் அல்லது விரியவேண்டும். அப்பொழுது நுட்ப தூரம் (critical distance) பெரிய பொருளின் ஊகச்சுருக்கத்தின் அரைவிட்டத்தைப்போல் அல்லது ஊகவிரிவின் அரைவிட்டத்தைப் போல் 2·45 மடங்காகும்.

இந்தத் தூரத்தை ரோச் எல்லை (Roche's limit) என்று சொல்லுவார்கள். ஒரு துணைக்கோள் அதன் முதற்கோளிலிருந்து மேற்கூறிய எல்லைக்கு வெளியில் இருந்தால் அது வட்டவடிவமான பாதையில் சுற்றிவரலாம். இந்த எல்லைக்குள் இருந்தால், அது துண்டுகளாகப் பிளக்கப்பட்டுவிடும். கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள எண்கள் ரோச்சின் கணக்காய்வைத் தெளிவுபடுத்தும்.

சனியின் வெளிப்புற வளையத்தின் அரை விட்டம்.	சனியின் விட்டத்தில் 2·30
ரோச் எல்லை	முதல் கோளின் அரை விட்டத்தில் 2·45.
சனியின் உட்புறத் துணைக்கோளின் சுற்றுப்பாதையின் அரைவிட்டம்.	சனியின் விட்டத்தில் 3·11
வியாழனின் உட்புறத் துணைக் கோளின் சுற்றுப்பாதையின் அரைவிட்டம்.	வியாழனின் விட்டத்தில் 2·54.
செவ்வாயின் உட்புறத் துணைக் கோளின் சுற்றுப்பாதையின் அரைவிட்டம்.	செவ்வாயின் விட்டத்தில் 2·79.

இப்பொழுது சனியின் வளையங்களாக இருப்பவை, முன்பு துணைக் கோள்களாக இருந்து, ரோச் எல்லைக்குள் புகுந்ததனால் பிளக்கப் பட்டிருக்கவேண்டும் என்று மேற்கூறிய எண்கள் தெரிவிக்கின்றன. வளையங்கள் என்று நாம் பன்மையில் சொல்லுவது, இரண்டு வட்ட இடைவெளிகள் மூன்று தனி வளையங்களாகக் காண்பதனால்தான். இதனால் இம் மூன்று வளையங்களும், மூன்று தனி வளையங்களின் பிளவுத் துண்டுகள் என்று நினைக்கத் தோன்றும். ஆனால், இது சரியன்று. சனியைச் சுற்றியுள்ள பாதைகளில் சில, சனியின் பெரிய துணைக்கோள் களின் இயக்கத்தினால் நிலையற்றதாக இருக்கின்றன. இதனால், எந்தத் துகளும் இந்தச் சுற்றுப்பாதையில் நிரந்தரமாக இருக்கமுடியாது. இந்த நிலையில்லாத சுற்றுப்பாதைகளின் (unstable orbits) அமைப்பைக் கோட்பாட்டு முறையில் கணக்கிட்டுவிடலாம். இந்த அமைப்பு வளையங்களின் இடைவெளிகளாக இருக்கின்றன என்பது தெளிவாகிறது. இதனால் சனியின் வளையங்கள் கிட்டத்தட்ட ஒரே துணைக் கோளின் பிளவினால்தான் ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்று முடிவாகக் கூறலாம்.

ரோச்சின் அடிப்படைக் கருத்தைப் பலவிதங்களில் பயன்படுத்தலாம். ஞாயிற்றைச் சுற்றி ரோச் எல்லை என்ற ஓர் அபாய எல்லையை

வரையறுத்துவிடலாம். இந்த அபாய எல்லையின் தொலைவு (ஞாயிற்றிலிருந்து) எந்தப் பொருளுக்கு இது பொருந்துமோ அந்தப் பொருளின் அடர்த்தியைப் பொறுத்திருக்கிறது. ஒரு வால்மீனைப்போல் குறைந்த அடர்த்தியை உடைய பொருளானால் இந்தத் தூரம் மிகப் பெரியதாக இருக்கும். அபாய எல்லை எதுவாக இருந்தாலும் வால்மீன்கள் இதனுள் எப்பொழுதாவது ஒரு சமயம் பிரவேசித்து பிளக்கப்பட்டுவிடும். பீலா (Biela's, 1846) வால்மீனும், டெய்லர் (Taylor's, 1916) வால்மீனும் அவற்றின் அபாய எல்லை ஞாயிற்றிலிருந்து பூமி உள்ள தூரத்தின் அளவில் இருக்கும்பொழுது இரண்டு பாகங்களாகப் பிளக்கப்பட்டுவிட்டன. 1882-ல் ஒரு வால்மீன் நான்கு பாகங்களாகப் பிளக்கப்பட்டுவிட்டது. பிறகு, பீலா வால்மீன் மறுபடியும் (1882) $1\frac{1}{2}$ மிலியன் மைல் தூரத்திலுள்ள இரண்டு தனி வால்மீன்களாகத் தோன்றியது. இதற்குப் பிறகு இந்த இரண்டு பகுதிகளில் ஒன்றுகூடக் காணவில்லை. இந்த வால்மீனின் சுற்றுப்பாதை ஆண்டிரோமீடிட் (Andromedid) என்ற எரிமீன்களின் சுற்றுப்பாதையேயாகும். இவை, அவைகளுக்கு உகந்த நாளான நவம்பர் 27-ல் பூமியின் வளிமண்டலத்தில் வீழ்மீன்களாகத் தோன்றுகின்றன. ஆகையினால், இவைகளே பீலா வால்மீனின் துண்டுகளாக இருக்கலாம். வால்மீன்களின் பாதைகளில் மற்ற வீழ்மீன் கூட்டங்களும் இயங்குகின்றன. லியோனிட்ஸ் (Leonids) என்ற கூட்டம் 33 ஆண்டுகளுக்கொருமுறை வானத்தில் அழகாகத் தோன்றுகிறது. இது வால்மீன் 1866 I-ன் பாதையில் இயங்குகிறது. பெர்சைட்ஸ் (Perseids) என்ற வீழ்மீன் மற்றொரு வால்மீனின் (1862 II) பாதையில் தோன்றுகிறது. அக்வாரிட்ஸ் (Aquarids) என்பது பிரசித்திபெற்ற ஹாலீ வால்மீனின் (Halley's comet) பாதையில் தோன்றுகிறது. இவை ஒவ்வொன்றிலும் வீழ்மீன்கள் வால்மீன்களின் பகுதிகள் என்று சொல்லலாம். இதைத்தவிர, ஒரே பொருண்மையிலிருந்து ஏற்பட்டவைகளாகத் தோன்றும் சில வால்மீன் குடும்பங்கள் ஒன்றை ஒன்று சுற்றிவருகின்றன.

வியாழனைச் சுற்றியும் இந்த ரோச் (அபாய) எல்லையை வரையலாம். இதற்குள் பிரவேசிக்கும் வால்மீன்கள் துண்டுகளாகப் பிளக்கப்படும். வியாழனின் உட்புறத் துணைக்கோள் இதற்கு மிக அருகில் உள்ளது. இந்த எல்லையில் நம் கவனத்தைத் தூண்டுவது சிறுகோள்களாகும். கோள்களின் சுற்றுப்பாதைகள் முன்காலத்தில் இப்பொழுது இருக்கும் அளவிற்கு வட்டமாக இல்லை. அப்பொழுது, செவ்வாய்க்கும், வியாழனுக்கும் இடையில் உள்ள ஒரு தொடக்கக் கோள் (primaeval planet) அதன் சுற்றுப்பாதையின் நீண்ட அமைப்பினால் வியாழனின் அபாய எல்லைக்குள் பிரவேசித்திருக்கக்கூடும். அப்படியிருக்குமானால் சிறு கோள்களின் அமைப்பு தெளிவாகிவிடும். செவ்வாய்க்கும், வியாழனுக்கும் இடையில் உள்ள சிறு கோள்களின்

சுற்றுப்பாதையின் அமைப்பு போடின் (Bode's law, பக்கம் 268) விதிப்படி இருக்கின்றது என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

கடைசி உதாரணமாக, இந்த அபாய எல்லை, புவியைச் சுற்றியும் இருக்கவேண்டும் என்று சொல்லலாம். இப்பொழுது, சந்திரன் இதற்கு வெளியில்தான் இருக்கிறது. ஆனால், எப்பொழுதும் இப்படியே இருக்க முடியாது. ஏனென்றால், புவியின் அலை எழுச்சியினால் சந்திரன் (அது முதலில் உருவான முறைப்படியே) புவியை நோக்கிச் செல்லும். இப்படிச் சென்று, அது புவியின் மேற்புறத்திலிருந்து 8000 மைல் களுக்குள் இருக்கும்பொழுது அதன் மேற்புறத்தில் அலை எழுப்பப்பட்டு தூள்தூளாகிச் சிதறிவிடும். இந்தத் தூள்கள் சிறு துணைக்கோள்க ளாக—ஞாயிற்றைச் சிறு கோள்கள் சுற்றுவதுபோல் அல்லது சனியை அதன் வளையங்களில் உள்ள துகள்கள் சுற்றுவதுபோல்—புவியைச் சுற்றி வரும். சந்திரனின் ஒளிக்குப் பதில், புவியின் துணைக்கோள் வளையத்தினால், திருப்பப்படும் ஒளி ஏற்படும். இஃது இப்பொழுது நமக்குக் கிடைக்கும் சந்திரனின் ஒளியைவிட வெளிச்சமாக இருக்கும். ஏனென்றால், ஞாயிற்றின் ஒளியைத் திருப்பும் பகுதி இப்பொழுது இன்னும் அதிகமாக இருக்கும்.

அலை எழுச்சி உராய்வு (Tidal Friction)

264ஆம் பக்கத்தில் கூறியபடி, கோள்கள் தனித்தனியே இருக்கும் பொழுது அலை எழுச்சி உராய்வு ஏற்படும். ஒவ்வொரு கோளும் ஞாயிற்றினால் விரட்டப்பட்டு அவைகளின் சுழற்சி வேகமும் குறையும். குறைந்த பிறகு அவைகளின் வேகம் ஏறக்குறைய (தோராயமாக) ஞாயிற்றினுடைய வேகத்திற்குச் சமமாக இருக்கும். ஆகையினால், கோள்கள் ஒரே பக்கத்தைத்தான் ஞாயிற்றின் எதிரில் காட்டும்.

இந்த அலை எழுச்சி காரணமாகத்தான் புதன் எப்பொழுதும் ஒரே பக்கத்தை ஞாயிற்றின் எதிரில் காட்டுகிறது. இதேமாதிரி, வெள்ளி ஞாயிற்றைப்போன்றே சுழலுவதால் நாள்தோறும் அல்லது வாரந் தோறும் ஒரே பக்கத்தை ஞாயிற்றின் எதிரில் காண்பிக்கிறது. ஞாயிற்றைவிட்டு அகன்று செல்லும்பொழுது இந்த அலை எழுச்சி உராய்வு குறைந்துவிடும். ஞாயிற்றின் அண்மையில் உள்ள புவியும், செவ்வாயும் 24 மணியளவுள்ள நாட்களையும், ஞாயிற்றைவிட அதிக தூரத்தில் உள்ள வியாழன், சனி, யுரேனஸ் இவை ஒவ்வொன்றும் 10 மணியளவுள்ள நாட்களையும் உடையவைகளாகும். நெப்டியூன், புளூடோ இவைகளின் சுழற்சிப்போழ்து நிர்ணயிக்கப்படவில்லை. பொதுவாக, ஞாயிற்றைவிட்டுத் தொலைவாகச் செல்லச்செல்ல, கோள்களின் சுழற்சி யும் அதிகமாகும். இதுதான் அலை எழுச்சி உராய்வின் விளைவு. இப் பொழுதுள்ள புவி-சந்திரன் அமைப்பிற்கும் அலை எழுச்சி உராய்வே

காரணமாகும். இதனால், சந்திரன் புவியைவிட்டு விரட்டப்பட்டு, புவியின் எதிரில் ஒரே முகத்தைக் காட்டுகிறது. அலை எழுச்சி உராய்வு இன்னும் இருக்கவேண்டும். சந்திரன், புவியின் பெருங்கடல்களில் அலை வீழ்ச்சியை உண்டாக்க, இதனால் இவைகளின் கெட்டியான தரை மட்டங்கள் மேலே இழுக்கப்பட்டு புவியின் சுழற்சி வேகத்தைக் குறைத்து நாட்களின் அளவை அதிகப்படுத்துகிறது. சந்திரனின் சுழற்சி வேகமும், புவியின் சுழற்சி வேகமும் சமமாக இருக்கும்வரை இது நிகழும். இப்படி ஒருகால் ஏற்பட்டால், அப்பொழுது புவியின் ஒருபுறம் சந்திரனை எப்பொழுதும் பார்த்தபடி இருக்கும். அதனால் இந்தப் பக்கத்திற்கு ஒவ்வோர் இரவிலும் வெளிச்சமிருக்கும். இந்தச் சமயத்தில் நாட்களின் அளவும், மாதங்களின் அளவும் ஒன்றாகிவிடும். அதாவது, ஒவ்வொன்றும் இப்பொழுதுள்ள நாட்களைப்போல் 47 நாட்களாகும்.

இதற்குப் பிறகு புவியிலிருந்து சந்திரனை இன்னும் சற்று தூரத்தில் விரட்டும் அளவு அலையெழுச்சி உராய்வு இருக்காது. ஞாயிற்றின் அலையெழுச்சியும், சந்திரனின் அலையெழுச்சியும் சேர்ந்து புவியின் சுழற்சி வேகத்தைக் குறைக்கும். இதேசமயத்தில் சந்திரன் புவியை நோக்கி வரும். இவ்வாறு வந்தபிறகு மேற்சொன்ன (பக்கம் 289) கதிக்கு ஆளாகிவிடும்.

இந்த நிகழ்ச்சிகள் முற்றிலும் நடப்பதற்கான கால அளவை ஜெஃப்ரீஸ் என்பவர் கணக்கிட்டிருக்கிறார். இதன் முடிவுகள் (பக்கம் 176) கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இப்பொழுதுள்ள புவி-சந்திரன் அமைப்பிற்குக் குறைந்தது 4000 மிலியன் ஆண்டுகள் பிடித்திருக்கவேண்டும் என்றும், இன்னும் 50,000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குப்பிறகு நாளும், மாதமும் ஒரே அளவுடையதாக இருக்கும் என்றும், இதனால் புவி ஒரே முகத்தைச் சந்திரனின் பக்கம் காட்டும் என்றும் இவர் முடிவு கூறியுள்ளார்.

கோள்களின் பௌதிக நிலைகள்
(The Physical Conditions of Planets)

ஒரு மெல்லிய வாயு இழையில் சுருங்கல்களாகத்தான் கோள்கள் தோன்றியிருக்கவேண்டும் என்று நாம் ஊகித்தோம். இதற்குப் பிறகு, இவை, படிப்படியாக முதலில் திரவங்களாகவும், அதற்கடுத்தாற்போல் திடப்பொருள்களாகவும் சுருங்கி இப்பொழுதுள்ள பௌதிக நிலையை அடைந்திருக்க வேண்டும் என்று சொல்லலாம். இந்த நிலைகள் எப்படி ஏற்பட்டன என்பதை இப்பொழுது ஆராய்வோம். இந்த ஆராய்வை இரண்டுவகைகளில் நடத்தலாம். முதல் வகை, ஒவ்வொரு கோளி

லிருந்தும் நமக்குக் கிடைக்கும் மொத்தக் கதிர்வீச்சை அளப்பது; இரண்டாவது வகை, நிறமாலை முறையில் ஆய்வு நடத்துவது.

கோள்களின் வெப்பநிலைகள்

கோள்கள் ஞாயிற்றின் ஒளியைத் திருப்புவதனால் அவைகளை நாம் பார்க்க முடிகிறது. மற்ற எந்தப் பொருளிலும் (தனிச்சுழி வெப்பநிலையில்) காணப்படுவதுபோலவே, ஒளிக் கதிர்வீச்சைத் தவிர, அவை கதிர் வீச்சு வெப்பத்தையும் (radiating heat) வெளிப்படுத்துகின்றன. இம்மாதிரி வெளியிடப்பட்ட வெப்பத்தை 'போலோமீட்டர்' (bolometer) என்ற கருவியினால் அளக்கலாம். சமீபத்தில் மிக நுட்பமாக இதைக் கண்டறியும்பொழுது, ஒவ்வொரு கோளும் ஞாயிற்றிலிருந்து பெற்ற ஆற்றலை ஒரே அளவில் ஒளி, வெப்பம் இவைகளின் கூட்டாக வெளியிடுகின்றது என்று கண்டனர். ஆகையினால், கோள்களுக்குச் சுயவெப்பம் எப்பொழுதும் கிடையாது. ஞாயிறு இவைகளை எவ்வளவு சூடுபடுத்துகிறதோ அவ்வளவு வெப்பத்தையே உடையனவாகும். ஆகையினால், ஞாயிற்றுக்கு அருகில் இருக்கும் கோள்கள் மிகுந்த வெப்பத்தை யுடையனவாகும். இதற்கு எதிரிடை உண்மையும் சரியானதாகும்.

ஞாயிற்றிலிருந்து கோள்களின் தூரம் கோள்களின் சராசரி வெப்பநிலையையே குறிக்கும். இந்தச் சராசரியின் வரையறை (range) அந்தக் குறித்த கோளின் பௌதிகநிலையைப் பொறுத்திருக்கும். உதாரணமாக, ஞாயிற்றிலிருந்து புவியும் சந்திரனும் ஒரே தூரத்தில் இருப்பதனால் இவைகளின் சராசரி வெப்பநிலை தோராயமாக ஒன்றாக இருக்கும். ஆனால், இவைகளின் பௌதிகநிலைகள் வெகுவாக மாறுபட்டிருக்கின்றன. சந்திரனில் வளிமண்டலம் கிடையாது; நீர் கிடையாது; தாவரங்கள் கிடையாது; மற்றபடி யாதொரு வகையான உயிர்ப் பொருளும் கிடையாது. இஃது ஓர் உயிரற்ற உலகம். இதில், லாவா, சாம்பல் இவைகளினாலான சமவெளிகளிலிருந்து எரிமலைக் கற்கள் உண்டாகின்றன. இன்னொருபுறம் எடுத்துக்கொண்டால், நம் புவியில் வளிமண்டலம் இருக்கின்றது; போதிய அளவு தண்ணீர் இருக்கின்றது; உயிர்ப்பொருள்கள் நிறைந்து காணப்படுகின்றன. புவியில் இரவும் பகலும் மாறிமாறி வருவதனால், இதன் வெப்பநிலை ஒரே நிலையில் இருக்கிறது. சந்திரனின் வெப்பநிலை ஓர் உச்சநிலையிலிருந்து மற்றொரு கீழ்வரம்புக்கு மாறுகிறது. இந்த மாறுதலை, ஞாயிற்றுக்கும் சந்திரனுக்கும் இடையில் புவி புகும்பொழுது ஏற்படும் சந்திரகிரகணத்தின் பொழுது, சிறிய அளவில் காணலாம். இந்த நிலையில் ஞாயிற்றின் கதிர்வீச்சு சந்திரனிடம் சேராமல் தடுக்கப்படும். ஞாயிற்றின் கதிர் இடைவிடாமல் படும்வரை, ஞாயிற்றின் நேர்கீழாக இருக்கும் பகுதியில் வெப்பநிலை 101°C என்று பெட்டிட் (Pettit) என்பவர் கண்டிருக்

கிறார். இந்தக் கதிர்களைப் புவி தடுத்துவிட்டால், அப்பொழுது, மேற் சொல்லிய வெப்பநிலை —73°C அளவிற்கு விரைவில் குறைந்துவிடும், அதாவது 174° அளவு குறையும். மேற்கூறிய குறைவு முழு கிரகணத்தின்போது ஏற்படும். இந்த நிலையில் இன்னும் ஒரு மணி நேரம் இருள் இருந்தால் வெப்பநிலை —91°C ஆகக் குறையும். முழு கிரகணத்தில் $4\frac{3}{4}$ மணி நேரத்திற்குப் பிறகு ஞாயிறு மறுபடியும் தோன்றும்பொழுது இந்த வெப்பநிலை —117°C ஆகும். இதற்குப் பிறகு ஞாயிற்றின் கதிர்கள் சந்திரனின்மேல் விழ, சந்திரன் முதலில் எவ்வளவு விரைவாகக் குளிர்ந்ததோ அவ்வளவு விரைவாகவே மறுபடியும் வெப்பம் பெறும்.

இந்த அதிக அளவு வெப்பநிலை மாறுபாடு புவியில் அரிது. கிரகணத்தின்போதாகிலும் இரவு நேரங்களிலாகிலும் ஞாயிற்றின் கதிர் தடுக்கப் பட்டவுடன் புவியின் வளிமண்டலமும், நிலமும் அதன் வெப்பச் சேமிப்பினால் சில நன்மைகளை அடையும். சந்திரனுக்கு இந்தச் சேமிப்புக் கிடையாது. இதற்கு வளிமண்டலம் கிடையாது. இதன் மேற்புறம் வெப்பத்தைக் கடத்தாது. கணக்கிட்டுப் பார்த்ததில் ஒரு கிரகணத்தின்போது சந்திரன் வெளியிடும் வெப்பம் அதன் மேற்புறத் தில் ஓர் அங்குலத்திற்கும் குறைந்த கனமுள்ள அடுக்கிலிருந்து வெளி யிடப்பட்டதாகும்.

கோள்களின் வளிமண்டலங்கள்

சந்திரனின் பொருண்மை சிறியதாகையினால் அதற்கு வளி மண்டலம் கிடையாது என்பதை ஏற்கெனவே பார்த்தோம் (பக்கம் 241). அதன் ஈர்ப்புவிசை அதன் மாலிகியூல்களைக் கட்டுப்படுத்தி வளி மண்டலத்தை நிறுவும் அளவில் இல்லை.

புவியில், கடல்மட்டத்தில் உள்ள ஒரு மாலிகியூல், மற்றொரு மாலிகியூலோடு மோதுவதற்கு முன்பு ஓர் அங்குலத்தில் 400,000-ல் ஒரு பங்கு தூரம்தான் செல்லும். இந்த அளவில் பயணம் செய்து அதன் பாதையை மாற்றிவிடும். வளிமண்டலத்தில் இதற்கு மேலான உயரங் களில், மாலிகியூல்கள் குறைவாக இருக்கும் மட்டங்களில், பாதையின் நீளம் இன்னும் அதிகமாக இருக்கும். கடைசியாக வளிமண்டலத்தின் மேல்மட்டத்தில், ஒரு மாலிகியூல் மற்றொரு மாலிகியூலைச் சந்திப் பதற்குமுன் பலமைல்கள் தூரம், அநேக ஆயிரம் மைல்கள்கூடச் செல்ல வேண்டும். இந்தப் பகுதிகளில், சரியான திசையில், சரியான வேகத் தில்—விநாடிக்கு 4·9 மைல்களிலிருந்து 7 மைல்கள்வரை—செல்லும். ஒரு மாலிகியூல், புவியின் சிறியதொரு துணைக்கோளாகப் பலமுறை ஒருவித எதிர்ப்புமின்றி புவியைச் சுற்றிவரும். இஃது அளவில் தவிர ஏனையவற்றில் சந்திரனைப்போன்று அமையும் (பக்கம் 45). இது

விநாடிக்கு 7 மைல் வேகத்திற்குமேல் சென்றால், புவியைவிட்டு அகன்று வானவெளியில் (ஒரு நாடோடியாகத்) திரியும்.

புவியின் வளிமண்டலத்தில் உள்ள மாலிகியூல்களின் சராசரி வேகம் விநாடிக்கு $\frac{1}{3}$ மைலாகையால் 7 மைல் வேகத்தில் செல்லும் மாலிகியூல்கள் மிகக் குறைவு. எப்பொழுதும் ஒரு சில மாலிகியூல்கள் இவ்வாறிருக்கின்றன. அதனால், சில மாலிகியூல்கள் எப்பொழுதும் நிலையாகப் புவியின் வளிமண்டலத்தைவிட்டு அகன்று வானத்தில் மறைந்துவிடும். இம்மாதிரி தப்பி மறையாத மற்ற மாலிகியூல்கள் மொத்தத்திற்கு ஒரு சரியான மாதிரியாகும். ஒரு கலப்பட வாயுவில், இலேசான மாலிகியூல்கள், கனமான மாலிகியூல்களைவிட வேகமாகச் செல்லும் 'என்பதைப் பார்த்தோம் (பக்கம் 113). ஆகையினால், இலேசான மாலிகியூல்களே விநாடிக்கு 7 மைல்கள் வேகத்தில் செல்லும். ஆகையினால், தப்பிச்செல்லும் வாயு முற்றிலும் அல்லது பெரும்பாலும் இம்மாதிரியான இலேசான மாலிகியூல்களை உடையதாகும்.

இப்பொழுதுள்ள நிலையில் எந்தவகையான வாயுவும் புவியின் வளிமண்டலத்தைவிட்டு கருதக்கூடிய அளவில் தப்பமுடியாது என்பதை ஓர் எளிய கணக்கீட்டினால் அறியலாம். ஆனால், சந்திரனின் மேற்புறத்திலுள்ள மாலிகியூல்களில் விநாடிக்கு $1\frac{1}{2}$ மைல் வேகத்திற்கு மேலான வேகத்தை உடைய மாலிகியூல்கள்கூட அதன் ஈர்ப்பு வெளியிலிருந்து தப்பிவிடும். ஒரு விரிவான கணக்கீட்டின்படி, ஹைட்ரஜன், ஹீலியம், நீராவி, நைட்ரஜன், ஆக்சிஜன், ஆர்கான் இவை அனைத்தும் வானவெளியில் புகுந்துவிடும். சந்திரன் உருவாகிக்கொண்டிருந்த காலத்தில், அதன் வெப்பம் அதிகமாக இருந்தது. அந்த நிலையில் கனமான வாயுவும் தப்பி மறைந்துவிடும். இதனால், இதன் வளிமண்டலம் முன்பு இருந்திருந்தால்கூட அநேக காலத்திற்கு முன்பே இது மறைந்திருக்கவேண்டும் என்று அறியலாம். சந்திரனின் ஈர்ப்புத்திறன் மிக மென்மையானதால், சாதாரண வகையைச் சேர்ந்த மாலிகியூல்கள் அதைவிட்டு விரைவாக வெளியேறிவிடும். ஆனால், புவியின் ஈர்ப்புத் திறன் போதிய அளவில் இருப்பதால் மாலிகியூல்களை இதனைவிட்டுப் போகாமல், நீண்டகாலத்திற்குக் கட்டுப்படுத்தும். இவை இரண்டிற்கும் இடைநிலையானது, கனமான மாலிகியூல்களைக் கட்டுப்படுத்தி, இலேசான மாலிகியூல்களைத் தப்பிவிடச் செய்யும் கோள்களாகும். இந்த மாதிரியான கோள்களில் புவியைவிடச் சிறியதாயும், சந்திரனைவிடப் பெரியதாயும் உள்ள செவ்வாய் ஒன்றாகும். கணக்கீட்டின்படி, இந்தக் கோள்களிலிருந்து ஹைட்ரஜன் வெகு விரைவாகவும், ஹீலியம் சற்று மெதுவாகவும், இவைகளைவிட கனமான வாயுக்கள் இன்னும் மெதுவாகவும் (நினைத்துப் பார்க்கமுடியாத அளவில்) தப்பிச் செல்லும். ஒவ்வொரு கோளிலும் எந்த வாயுக்கள் அவைகளின் இலேசான தன்மைக்காக வளிமண்டலத்தில் தள்ளுபடி செய்யவேண்டும் என்பதைக்

கணக்கிட்டறியலாம். ஆனால், எந்தெந்த கனமான வாயுக்கள் வளி மண்டலத்தில் இருக்கின்றன என்பதை நேரில் கண்டறிந்து உறுதி செய்யவேண்டும்.

ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தைச் சேர்ந்தவைகளுள் அநேகம்—புதன், செவ்வாய், குறிப்பாகச் சந்திரன்—அவைகளின் மேற்புறத்திலுள்ள தெளிவான அமைப்பைக் காண்பிக்கின்றன. பெரிய கோள்கள் இவ்வாறு காண்பிப்பதில்லை. அவைகள் காண்பிப்பது தெளிவாகவும் நிரந்தரமாகவும் இல்லை. நாம் காணக்கூடியது அடர்த்தியாக இருக்கும் முகில்களேயாகும். இந்த முகில்கள் புவியினுடையதைப்போல் இல்லாமல் மிகவும் மாறுபட்டவைகளாக இருக்கலாம். இந்த முகில்களின் இயல்பு எப்படியாகிலும், அவைகளைத் தாங்க ஏதாவது ஒருவித வளிமண்டல அமைப்பு இருக்கவேண்டும்.

இந்த வளிமண்டலத்தின் கூட்டைப்பற்றி ஆராய இரண்டாவது வகையைச் சேர்ந்த நிறமாலைச் சோதனையைக் கையாளவேண்டும்.

கோள்களுக்கென்று தனிப்பட்ட ஒளி இல்லாததனால், இவை ஞாயிற்றின் ஒளியில் எவ்வளவு திருப்புகிறதோ அதையொட்டி, சோதனையை நடத்தவேண்டும். ஒரு குறிப்பிட்ட கோளுக்கு வளி மண்டலம் இருந்தால், அதன் ஒளி நம் கருவியை அடைவதற்குள் வளி மண்டலத்தை இருமுறை கடக்கவேண்டும். உள்ளே புகும்பொழுது ஒரு முறையும், வெளியே வரும்பொழுது மறுமுறையும் இது ஞாயிற்றின் ஒளியை அதிகரிக்காது, ஆனால் அதைக் குறைக்கலாம். இந்தக் குறைவை நிறமாலையில் உள்ள உட்கவர்பட்டைகளின் தோற்றத்தின் மூலம் அறியலாம். இதைக் கண்டவுடன், ஒளியை எந்தப் பொருள்கள் தடை செய்கின்றன என்பதை நிர்ணயித்து, இதனால் ஓரளவிற்கு வளி மண்டலத்தின் பொருள்கள் யாவை என்பதைத் தீர்மானம் செய்யலாம். வளிமண்டலம் ஒளிபுகு தன்மையதாயிருந்தால் இதனுள் இருக்கும் கோளைத் தெளிவாகப் பார்க்கமுடியும். ஒரு பொருளும் ஒளியை முற்றிலும் திருப்பாததாகையினால், மேற்சொன்ன திருப்பத்தில் சிறிது அளவு ஒளியை இழந்திருக்கவேண்டும். இழந்த ஒளியின் அளவு ஒவ்வொரு நிறத்திற்கும் வெவ்வேறு அளவாக இருக்கும். மேற்கூறிய கோளின் மேற்புறத்தின் திருப்புதிறனை ஒவ்வொரு நிறத்திற்கும் எவ்வளவு என்பதை நிர்ணயித்து, இதைப் புவியிலுள்ள பொருள்களில் நமக்குத் தெரிந்தவற்றோடு ஒப்பிட்டுப் பார்த்து, கோளின் மேற்புறத்தின் அமைப்பு எந்தப் பொருள்களினால் ஆனது என்பதை அறியலாம். சமீபத்தில் லையொட் (Lyot) என்பவர் புதன், செவ்வாய், சந்திரன் இவைகளின் மேற்புறத்தின் திருப்புதிறனை நிர்ணயித்து, இவை லாவா, புமிஸ் (pumice) இவைகளின் திருப்புதிறனுக்கு ஒத்திருக்கின்றன என்று கண்டார்.

ஒளி ஒரு கெட்டியான மேற்புறத்தினால் திருப்பப்பட்டால், அதன் அளவு குறைவது மட்டுமன்றி, அதன் தன்மையும் மாறும். ஒளியின் தன்மை அது செல்லும் திசைக்கு செங்குத்துத் திசைகளெல்லாவற்றிலும் ஒரேமாதிரியாக இல்லாவிட்டால் அந்த ஒளியை 'துருவகரித்த ஒளி' (polarised light) என்று சொல்லுவார்கள். ஒளியின் துருவகரணம் (polarisation) ஒளித் திருப்பத்தில் அதன் நிறத்திற்கேற்ப மாறும். இது திருப்பும் மேற்புறத்தை ஒட்டியும் இருக்கும். மேற்கூறிய மூன்று மேற்புறங்களும் நிறங்களையொட்டி லாவா, புமிஸ் இவைகளின் ஒளி திருப்புதிறனை உடையனவாகும். இதுவன்றி, அவைகளின் துருவ கரணத்தை மாற்றும் திறனும் இவைகளைப்போலவே மாறுகின்றன. ஆகையினால், மேற்கூறிய மூன்று மேற்புறங்களும் எரிமலைக் குழம்பு களின் பொருள்களினாலானவை என்று, சந்தேகமில்லாமல் கூறலாம்.

இந்த முறைகளில்தான் வானவியல் அறிஞர், கோள்களின் பௌதிக நிலைகளைப்பற்றி ஆராய்கிறார். ஞாயிற்றின் அண்மையில் உள்ள கோளிலிருந்து, ஒவ்வொரு கோளைப்பற்றியும் தொடர்ந்து ஆராய்வோம்.

புதன் (Mercury)

ஞாயிற்றின் அண்மையில் உள்ளதும், இதனால் மிக வெப்பமானது மான கோள் புதனாகும். சந்திரன், புவியை நோக்கி ஒரே முகத்தைக் காட்டிக்கொண்டிருப்பதுபோல் புதனும், ஞாயிற்றை நோக்கி ஒரே முகத்தைத்தான் காண்பிக்கின்றது. இதனால் புதனின் ஒரு பாதியில் முடிவில்லாத—மிகவெப்பமான—நாட்களும், மற்றொரு பாதியில் (அரைக்கோளத்தில்) எப்பொழுதும் இரவுமாக இருக்கும். ஞாயிற்றுக்கு நேர்கீழாக உள்ள பகுதியில், நடுப்பகலாக இருக்கும். இங்கு வெப்பநிலை 650°F. இந்த வெப்பநிலையில் ஈயமும், வெள்ளீயமும் திரவங்களாகிவிடும். புதனில் மக்கள் வாழ்வார்களேயானால் அவர்கள் இந்தப் பகுதியில் வாழமுடியாது. இவர்கள் 90°-க்கு அப்பால் உள்ள அந்தி எல்லையில்தான் வாழமுடியும். இங்கு ஞாயிறு அடிவானத்தில் இருக்கும். இதனால் வெப்பமும் மிதமாக இருக்கும். இங்குகூட தரை மட்டத்திற்குமேல் கட்டப்பட்ட வீடுகளில் வாழமுடியாது. ஏனென்றால், ஞாயிற்றை எதிராகக்கொண்டுள்ள சுவர்கள் எல்லாம் ஏறக்குறைய 650°F வெப்பநிலையை அடையும். அதனால், இதில் வசிப்பவர்கள், ஓர் அடுப்பில் வறுக்கப்பட்டதுபோல் ஆகிவிடுவார்கள். அவர்கள் குழிகளாக உள்ள வீதிகளில் வசிப்பதாக நினைப்போம். ஆனால், தண்ணீரைக் கொதிக்கவைப்பதற்கும் எந்திரங்களை இயக்குவதற்கும் வேண்டிய (சில அடிகள் நீளத்திற்கு) இரும்புக் குழாய்களைத் தரைமட்டத்திற்குமேல் அமைத்திருப்பதாகக் கொள்வோம். எப்படியிருந்தாலும் வானவியலைப்

பொறுத்தவரை, புதனில் எந்தவிதமான உயிர்ப்பொருள்களும் இருப்பதற்கு ஒருவித ஆதாரமும் இல்லை.

புதனுக்கு வளிமண்டலம் இருக்கின்றதா இல்லையா என்பது இது வரை திண்ணமாகத் தெரியவில்லை. இது கோள்களுக்குள் மிக இலேசானதாகும். இது புவியின் பொருளில் 20-ல் 1 பங்குக்கும் குறைவான பொருளையுடையது. ஆகையினால், இதன் வளிமண்டலத்தைக் காப்பதற்கு ஏற்ற திறனற்றதாகும். தற்பொழுது அஃது இருக்கும் நிலையில் ஆக்சிஜனையும், இதைவிட கனமான வாயுக்களையும் அது கட்டுப்படுத்தும். ஆனால், இதற்கு முன்பு, இப்பொழுதுள்ள வெப்பத்தைக்காட்டிலும் அதிக வெப்பத்தில் இருந்ததால் இலேசான வாயுக்கள் (மிகக் கனமாக உள்ள வாயுக்களைத்தவிர) எல்லாம் வான வெளியினுள் சென்றிருக்கவேண்டும். மொத்தத்தில், அதன் மேற்புறம் நன்றாகவும், நிரந்தரமாகவும் அமைந்திருப்பதால் கருதக்கூடிய வளிமண்டலம் ஒன்றும் இதற்கு ஏற்பட்டிருக்காது. இருந்தாலும் 50 ஆண்டுகளுக்குமுன் சியாபரல்லி (Schiaparelli) என்பவர் இந்தக் கோளின் மேற்புற அமைப்புகள் சிறிது மங்கலாக இருப்பதைக் கண்டார். இஃது ஒரு முகில் கூட்டத்தினால் மறைக்கப்பட்டதுபோல் அவருக்குத் தோற்றமளித்தது. இந்த உண்மையை அந்தோனியாடி (Antoniadi) என்பவர் உறுதி செய்ததுடன், இதை ஓரளவுக்கு விவரமாகவும் ஆராய்ந்திருக்கிறார். இந்தக் கோள், நீராவியின் மாலிகியூல்களை நிறுத்திவைக்க முடியாததனால், மேற்கூறிய முகில்கள், கற்களின் தூசித்துகள்களினாலானவை (particles of dust) என்று கருதப்படுகிறது. இருந்தாலும், இந்தத் துகள்கள் உடனடியாகக் கோளின் மேற்புறத்தில் விழுந்து விடாமல் தடுப்பதற்கு ஏதேனும் ஒரு வளிமண்டலம் அமையவேண்டும்.

வெள்ளி (Venus)

புதனுக்கு அடுத்தது வெள்ளியாகும். இதைப் புவியின் இரட்டைச் சகோதரி என்று சொல்லலாம். இருந்தாலும், இரண்டும் ஒரேமாதிரியன்று. ஏனென்றால், புவியின் விட்டம் வெள்ளியின் விட்டத்தைவிட 3 சதவீதம் அதிகமாயும், அதன் பொருண்மை வெள்ளியைவிட 23 சதவீதம் அதிகமாயும் இருக்கின்றது. இந்தச் சிறிய வேறுபாடுகள் அவைகளின் வளிமண்டலங்களைக் காக்கும் திறமையில் ஒருவித மாறுபாடுகளையும் ஏற்படுத்தவில்லை. புவியைப்போன்ற வெள்ளியும் அதன் வளிமண்டலத்தில் ஹைட்ரஜன் உட்பட எல்லா வாயுக்களையும் தப்பிச் செல்லாதபடி காத்துவருகிறது. இந்தக் கோள்களை, அவை இப்பொழுதுள்ள நிலையில் ஆராய்ந்தால், வெள்ளியின் வளிமண்டலம், புவியின் வளிமண்டலத்தைவிடச் சிறியதாகினும் ஒரேமாதிரியாகத்தான் இருக்கும் என்று எதிர்பார்க்கலாம்.

உண்மையில் இவ்விரண்டு வளிமண்டலங்களும் மிகவும் மாறுபட்டவைகளாக இருக்கின்றன. இந்த மாறுபாடு, ஓரளவிற்கு வெள்ளியின் தோற்றத்திலிருந்து புலப்படுகிறது. வெள்ளியிலிருந்து, புவியை, ஒரு வானவியல் அறிஞர் காண்பாராகில், அவர் காண்பது, மிகவெளிச்சமான முகில்களும், இவைகளுக்கிடையே நிரந்தரமாகக் கடல், பாலைவனம், செழிப்பான பிரதேசங்கள் ஆகிய அமைப்புகளேயாகும். ஆனால், புவியிலிருந்து வெள்ளியைக் காணும் ஒரு வானவியல் அறிஞர், முகிலைப் போன்ற மேற்புறத்தைக் காண்பாரேயன்றி ஒருவித நிரந்தர அமைப்பையும் காணமாட்டார். ஜெராஸிமோவிக் (Gerasimovic) என்பவர், இந்த முகில்களின் வெளிச்சத்தைப்பற்றியும், இந்த வெளிச்சம் அந்தக் கோளின் பிறைக்கு ஏற்றவாறு எவ்வாறு மாறுகிறது என்பதைப்பற்றியும் ஆராய்ந்து இந்தப் போர்வை (envelope) வாயுவாக இருக்கமுடியாது என்றும், இது வெகுவாகப் பரவியுள்ள துகள்களாகத்தான் இருக்க வேண்டும் என்றும் முடிவு கூறியுள்ளார். இவை சுருங்கல்களின் காரணமாக ஏற்பட்டவை என்று சொல்லலாம். இது நம்முடைய வளிமண்டலத்தில் சுழல் இழைகளாக அமைந்திருக்கும் முகில்களின் பனிக்கட்டிச் சில்லுகள்போல் இருக்கும். இதற்கு முன்கூறிய முகிலின் அடுக்கினடியில் எந்தவிதமான வளிமண்டலம் இருக்கின்றது என்பதுபற்றி ஆராய ஒருவழியுமில்லை. ஆனால், ‘மேல் வளிமண்டலம்’ என்று சொல்லப்படும் இதற்கு மேலுள்ள வளிமண்டலத்தை நிறமாலைவழியில் ஆராயலாம்.

இது பலவகையில் புவியின் வளிமண்டலத்திற்கு முரணானதாக உள்ளது. ஹைட்ரஜன், நைட்ரஜன், மற்ற ஒற்றை அணு மந்தவாயு இவைகளில் எதையும் நிறமாலைவழியில் கண்டுபிடிக்கமுடியாது. ஆகையினால், வெள்ளியிலிருந்து புவியின் வளிமண்டலத்தைப்பற்றி ஆராயும்பொழுது, அதிக அளவில் ஆக்சிஜனும், இதேபோல் அதிக அளவில் நீராவியும், குறைந்த அளவில் கரியமிலவாயுவும் காணப்படும். ஆனால், புவியிலிருந்து வெள்ளியின் மேல் வளிமண்டலத்தை ஆராய்ந்தால், ஆக்சிஜன் காணப்படவில்லை; நீராவியும் காணப்படவில்லை; அதிக அளவில் கரியமில வாயுமட்டும் காணப்படுகிறது. இதனால், அந்த வளிமண்டலத்தில் ஆக்சிஜனும், நீராவியும் கிடையாது என்று சொல்லிவிட முடியாது. ஏனென்றால், நிறமாலைச் சோதனை மிக நுட்பமானதன்று. ஆனால், ஆக்சிஜன், நீராவி இவை இரண்டும் ஒரு நிர்ணயிக்கக்கூடிய அளவு எல்லையினுள் இருக்கும் என்று சொல்லலாம். புவியின் வளிமண்டலத்தில் உள்ள மொத்த ஆக்சிஜனையும் சேகரித்து, இதை வளி அமுக்கத்தில் ஓர் அடுக்காகப் பரப்பினால், இந்த அடுக்கின் பருமன் ஒருமைல் அளவில் இருக்கும். இதேமாதிரி கரியமிலவாயுவைப் பரப்பினால் சில அடி பருமனில்தான் இருக்கும். வெள்ளியின் மேல் வளிமண்டலத்தில், ஆக்சிஜனுடைய மேற்கூறிய பருமன் மூன்றடிக்குக்

குறைவாகவும், கரியமிலவாயுவின் பருமன் அரைமைல் அளவிலும் இருக்கும். சுருங்கச் சொன்னால், புவிக்குப் பதில் வெள்ளியை எடுத்துக் கொண்டால் கரியமில வாயுவும், ஆக்சிஜனும் மாருக அமையும். மேலும், வெள்ளியின் மேல் வளிமண்டலத்தில் உள்ள நீராவியின் மொத்த அளவு, புவியில் மிக உயரத்தில் அமைந்த முகில்களிலுள்ள நீராவியின் மொத்த அளவைக்காட்டிலும் குறைவு என்று செயின்ட் ஜான் (St. John) என்பவர் கண்டுபிடித்திருக்கிருர். இவை மழையாகப் பெய்தால், இந்த மழையின் அளவு $\frac{1}{25}$ அங்குலத்திற்கும் குறைவாக இருக்கும்.

ஒரேமாதிரி அமைந்த இரண்டு கோள்களையும் இரண்டுவித வளிமண்டலங்கள் சூழ்ந்திருப்பது வியக்கத்தக்கதாகும். ஆனல், வெள்ளியைவிடப் புவியே வியப்பூட்டுகிறது. ஆக்சிஜன் இதர பொருள் களுடன் எளிதாகக் கலந்துவிடுவதனல் இரண்டு கோள்களிலும் இது தனித்துக் காணமுடியாத ஒரு பொருளாக இருக்கவேண்டும். புவியின் வளிமண்டலத்தில் காணப்படும் ஆக்சிஜன், புவியின் தாவரத்தினல் ஏற்பட்டதென்று கருதப்படுகிறது. ஏனென்ருல், இவை ஆக்சிஜன் கூட்டிலிருந்து, குறிப்பாகக் கரியமிலவாயுக் கூட்டிலிருந்து, ஆக்சி ஜனைப் பிரித்து வளியில் சேர்த்துவிடுகிறது. இஃது எல்லாவற்றிற்கும் பொருந்தாது. காற்றில் உயிர் (anaerobic-அனெரோபிக்) நிலை களில் புவியில், தாமாகவே உயிர்கள் ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்று உயிர்நூல் அறிஞர்கள் கருதுகிருர்கள். முதலில் ஏற்பட்ட உயிர்களுக் குச் சிறிது ஆக்சிஜன் தேவையாயிருந்திருக்கவேண்டும் என்று தோன்றுகிறது. இந்த ஆக்சிஜன், ஆரம்பகாலத்துப் புவியின் வெப்பம் நீராவியின் மாலிகியூல்களை ஆக்சிஜனுகவும் ஹைட்ரஜனுகவும் பிரித் ததனல் ஆக்சிஜன் ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்று தம்மன் (Tamman) என்பவர் கருதுகிருர். புவியின் ஈர்ப்பினல் கட்டுப்படுத்தமுடியாமல் ஹைட்ரஜன் வானவெளிக்குள் மறைந்துவிடும். ஆக்சிஜனில் ஒரு பகுதி புவி பொறையில் கெட்டிப்படும் கற்களோடு கலந்துவிடும். ஆனல், தாவரம் சமநிலையை ஏற்படுத்திவிடும். நீராவியும், தாவர இனமும் இருக்கின்றன என்று வைத்துக்கொள்ளும்வரை ஆக்சிஜனின் இருப்பைப்பற்றி ஒருவித ஐயப்பாடும் இருக்காது.

ஆகையினல், வெள்ளியின் வளிமண்டலத்தில் ஆக்சிஜன் இல்லை யென்ருல், இதற்குக் காரணம், நீராவி போதிய அளவில் இல்லை என்ருே அல்லது தாவர இனம் போதிய அளவில் இல்லை என்ருே அல்லது இரண்டுமே போதிய அளவில் இல்லையென்ருே சொல்லலாம். இதில் முதலில் உள்ளதை ஆராய்வோம். அதாவது, தாவர இனம் போதிய அளவில் இல்லையென்ருே, முற்றிலும் இல்லையென்ருே வைத்துக்கொள் வோம்.

நம்முடைய புவியில் வாழ்க்கை ஏற்பட்டதை, ஓர் எதிர்பாராத நிகழ்ச்சியென்றே, அல்லது ஓர் அரிய பொருத்தம் என்றே, அல்லது நம்முடைய கோளுக்கான ஒரு தனி ஆக்கம் என்றே நினைக்கலாம். இதேமாதிரியான நிகழ்ச்சி வெள்ளியில் ஏற்படவில்லை என்ற கொள்கை மொத்த நிலையையும் விளக்கிவிடும். வெள்ளியில் ஒருகாலத்தில் ஆக்சிஜன் சேமிக்கப்பட்டிருந்தாலும், இது கற்களோடும் வண்டல்களோடும் சேர்ந்திருக்கவேண்டும். இதை மறுபடியும் உண்டாக்கத் தாவர இனங்கள் அதில் இல்லை. மற்றபடி இன்னொரு காரணத்தையும் சொல்லலாம். உயிர் ஏற்படவேண்டுமானால் அதற்குத் தகுந்த சூழ் நிலைகள் வேண்டும். அதனால் இந்தச் சூழ்நிலைகள் வெள்ளியில் ஏற்பட வில்லை என்று சொல்லலாம். உண்மையில் வெள்ளி உயிர்களே வாழ முடியாத அளவிற்கு வெப்பத்தையுடையது. புவியின் வளிமண்டலத்தில் உள்ள சிறிதளவு கரியமிலவாயு ஒரு போர்வையாக அமைகிறது. இது கதிர்வீச்சை வெளியே செல்லாதபடி தடுக்கிறது. இல்லாவிட்டால், இந்தக் கதிர்வீச்சு புவியின் மேற்புறத்தைவிட்டு வெளியேறிவிடும். இதனால் புவியின் வெப்பம் குறைந்துவிடும். புவியைவிட ஆயிரம் மடங்கு அதிக அளவு கரியமிலவாயுவை உடைய வெள்ளியில், இஃது (கரியமிலவாயு) ஒரு சக்திவாய்ந்த போர்வையாக அமைந்திருக்கிறது. ஆகையினால் வெள்ளியின் மேற்புறத்தில் வெப்பநிலை 80°C அளவி லிருந்து 130°Cவரை உள்ளது. இதில் வளி அமுக்கம், புவியின் மேற்புறத்தின் வளி அமுக்கத்தைவிடக் குறைவாக இருக்கலாம். ஆகையினால் நீர், நீராவியாகத்தான் இருக்கவேண்டும். இப்படியிருந் தால், இது வாழ்க்கைக்கு ஏற்றதாக இருக்காது. இதற்கு முன்பு இஃது இன்னும் அதிக அளவில் இருந்திருக்கும் என்பது உண்மையாகும்.

இதற்குமாறாக வில்ட் (Wildt) என்பவர், வெள்ளி எப்பொழுதுமே குறைந்த அளவில் நீரை உடையதாக இருக்கலாம் என்ற கருத்தைத் தெரிவித்தார். வெள்ளி புவியைப்போன்ற பொருளினாலேயே ஆக்கப் பட்டிருக்கவேண்டும்—அதாவது, ஞாயிற்றிலிருந்து கோள்கள் உண் டாகும்பொழுது அதன் மேற்புற அடுக்குகளில் இருந்த பொருள் களை உடையதாக இருக்கவேண்டும். ஆகையினால், புவியில் நீராவியின் அளவு எவ்வளவோ அதே அளவில் நீராவியையுடையதாகும் என்று சொல்லலாம். இதற்கு அடுத்து, அதன் சிறிய பொருண்மையின் காரணத்தினாலும், அதிக வெப்பத்தினாலும் நீர் மாலிகியூல்கள் வெள்ளியி லிருந்து வெளியேறியிருக்கலாம். ஆனால், புவியில் இந்த நீர் மாலி கியூல்கள் கட்டிக்காக்கப்படுகின்றன. ஆக்சிஜன் புவியின் வளிமண்ட லத்தில் அதிக அளவில் இருப்பதால் அஃது ஓசோன் (ozone) அடுக்கு களை உண்டாக்கிக்கொள்கிறது. இதனால் இந்த வளிமண்டலத்தின் அடிப்பகுதிகள் ஞாயிற்றின் புறஊதாக் கதிர்களிலிருந்து காக்கப்படு கின்றன. வெள்ளியின் வளிமண்டலத்தில் ஆக்சிஜன், மேற்சொன்ன

வாறு, அதிக அளவில் இல்லாவிட்டால் புறஊதாக் கதிர்களிலிருந்து தப்பமுடியாது. இக் கதிர்கள் வளிமண்டலத்தில் ஊடுருவி அதில் உள்ள மாலிகியூல்களை ஒளிஇயைபு நிகழ்ச்சியின் காரணமாகப் பிளந்துவிடும் (பக்கம் 151). தகுந்த சூழ்நிலையில், முதலில் கரியமிலவாயு, நீராவி இவைகளின் மாலிகியூல்களாக இருந்தவை மறுபடியும் ஒன்றோடொன்று கூடி, தூய ஆக்சிஜனாகவும் (O_2) ஃபார்மல்டிஹைட் (formaldehyde) ஆகவும் (CH_2O) மாறிவிடும். இந்த ஆக்சிஜனை மறுபடியும் கற்கள் உறிஞ்சிவிடும். ஆகையினால், ஃபார்மல்டிஹைட் மட்டும் வளிமண்டலத்தில் .கலந்துவிடும். ஒருகாலத்தில், வில்ட் 'என்பவர் வெள்ளியைச் சுற்றியுள்ள வெள்ளை முகில்கள் நீராவி, ஃபார்மல்டிஹைட் இவைகளின் இயைபுக்கூட்டாக இருக்கலாம் என்று நினைத்தார். இதற்கு அடுத்துச் சிலகாலத்திற்குள் (1942) இஃது உண்மையன்று என்று அறிந்தார். அவர் ஆராய்ச்சியில், நிறமாலைச் சோதனையின்படி வெள்ளியின் வளிமண்டலத்தில் ஃபார்மல்டிஹைட் இருப்பதற்கு ஒருவித ஆதாரமும் கிடைக்கவில்லை. இப்பொழுதுள்ள வெள்ளியில், மேற்புறம் வெப்பமாயும் வறண்டதாயும் இருப்பதாக நினைக்கலாம். இதில் உயிர்களும், தாவரங்களும் கிடையாது—புவியில் இவை இருக்கின்றன என்பது நமக்குத் தெரிந்ததேயாகும். இந்த வெள்ளியின் வளிமண்டலத்தில் ஒளிபுகா முகில்கள் நிரம்பி இருக்கின்றன. இதைத்தவிர, அதிக அளவில் கரியமிலவாயுவும், நமக்குத் தெரியாத அளவில் நைட்ரஜனும், குறைந்த அளவில் நீராவியும், தூய ஆக்சிஜனும் இருக்கின்றன.

செவ்வாய்

ஞாயிற்றைவிட்டு வெளிப்புறமாகச் சென்றால், வெள்ளிக்கு அடுத்தாற்போல் உள்ளது புவியாகும். இதற்கு அடுத்து, புவியைவிடக் குளிர்ச்சியாக உள்ள கோள்கள் இருக்கின்றன. இவைகளுள் செவ்வாய் மிகவும் குளிர்ந்ததன்று. ஞாயிற்றிலிருந்து இதற்குக் கிடைக்கும் கதிர் வீச்சினால், இதன் வெப்பநிலை புவியைப்போன்று 0·81 மடங்காகும். அதாவது $-40°C$ ஆகும். இதன் வெப்பநிலை இந்தச் சராசரி அளவிலிருந்து வெகு பரவலாக உள்ளது. அதாவது செவ்வாயின் கோடைநாளில் நடுப்பகலில் அதன் வெப்பம், மத்தியகோட்டில் $+10°C$ அளவிலும், குளிர்காலத்தில் அதன் துருவங்களில் $-70°C$ அளவிலும் இருக்கின்றன.

ஆனால், செவ்வாயைச்சுற்றி ஒரு திடமான வளிமண்டலம் அமையாவிட்டால், இந்த வெப்பநிலை மேலும் அதிகப் பரவலை உடையதாக இருக்கும். இதில் திடமான வளிமண்டலம் இருப்பதைக் கண்டறிந்து உறுதி செய்திருக்கிறார்கள். லிக் சோதனைக்கூடத்தைச் (Lick Observatory) சேர்ந்த டபிள்யூ. எச். ரைட் (W. H. Wright) என்பவர் அகச் சிவப்புக் கதிர்களின்மூலம் (infra-red rays)

இந்தக் கோளை ஒளிப்படமாக்கியிருக்கிறார். இந்தக் கதிர்கள் எந்த வளிமண்டலத்தையும் ஊடுருவிச் செல்லும். அதனால் அந்தக் கோளின் திடப்பகுதி முற்றிலும் ஒளிப்படமாக்கிவிடும். புற ஊதாக் கதிர்களைக் கொண்டும் இந்தக் கோளை ஒளிப்படமாக்கியிருக்கிறார். இதில் கோளின் வளிமண்டலமட்டுமே அமைந்திருக்கும். ஏனென்றால், இந்தக் கதிர்கள் வெகுவாக ஊடுருவிச் செல்லாது. இதனால், செவ்வாயில் புற ஊதா உருவம் அகச் சிவப்பு உருவத்தைவிட மிகப் பெரியதாக இருப்பதாக அறிந்தார். ஆகையினால், செவ்வாயின் வளிமண்டலம் 50 அல்லது 60 மைல்கள் உயரத்திற்கு இருக்கவேண்டும் என்பதற்குத் தக்க ஆதாரம் கிடைத்தது.

இந்த வளிமண்டலத்தின் ஆக்கத்தைப்பற்றி இன்னும் தெளிவாக ஒன்றும் தெரியவில்லை. நிறமாலைச் சோதனையில் ஆக்சிஜன், கரியமில வாயு, நீராவி இவைகளில் எதுவும் இருப்பதாகத் தெரியவில்லை. டபிள்யூ. எஸ். ஆடம்ஸ் (1941) என்பவர் இதன் நீராவியின் அளவு, புவியின் வளிமண்டலத்தில் உள்ளதில் சதுர கெஜத்திற்கு பத்தில் ஒரு பங்குகூட இருக்காது என்பதை நுண்காட்சியின்மூலம் கண்டறிந்தார். இந்த மொத்த நீராவியும் மழையாகப் பொழிந்தால் அந்த மழையின் அளவு ஓர் அங்குலத்தில் 50-ல் ஒரு பங்கிற்கும் குறைவானதாக இருக்கும்.

செவ்வாயின் துருவங்கள் இரண்டும் ‘பனிக்கட்டித் தொப்பிகள்’ (ice caps) என்று சொல்லப்படும் ஒருவித வெள்ளைப் பகுதிகளையுடையதாகும். இப் பகுதிகள் வெப்ப காலங்களில் குறைந்து, அதிக வெப்ப காலமான கோடைக்காலத்தில் முற்றிலும் மறைந்துவிடுகின்றன. இந்தப் பெயருக்குக் காரணம், புவியிலும் துருவங்களில் இம்மாதிரியான அமைப்பு இருப்பதேயாகும். இருந்தாலும் புவியில் உள்ள பனிக்கட்டி போல் அவ்வளவு அடர்த்தியாக இல்லாமல், செவ்வாயில் சற்று மெல்லியதாகவே இருக்கவேண்டும். ஏனென்றால், செவ்வாய் ஒரு குளிர்ச்சியான கோள். ஆகையினால், அதன் கோடை வெப்பம் அடர்த்தியான பனிக்கட்டியை உருக்கிவிடும் அளவில் இருக்காது. அதில் உள்ள பனிக்கட்டி (எவ்வளவாகிலும்) உயரத்தில் சில அங்குலங்களுக்கு மேல் இருக்காது. துருவங்களுக்கு வெகு அண்மையில் சிறிது அதிகமாக இருக்கலாம். இந்தத் தொப்பிகளின் உண்மை அமைப்பை மேற்சொன்ன டபிள்யூ. எச். ரைட் என்பவரின் ஒளிப்படம் ஒருவாறு காட்டுகிறது. புறஊதா ஒளியில் இந்தத் தொப்பிகளைக் காணமுடிகிறது. ஆனால், அகச் சிவப்பு ஒளியில் இவைகளைக் காணமுடியவில்லை. பனிக்கட்டி அடுக்குகள் இதற்கு நேர்மாறாக நடந்துகொள்ளும். இதிலிருந்து நாம் பெறும் முடிவு என்னவென்றால், இந்தத் தொப்பிகள் வளிமண்டலத்தில் தான் இருக்கவேண்டும், கோளின் மேற்புறத்தில் அன்று என்பதேயாகும். இந்தத் தொப்பிகள் நம் வளிமண்டலத்தில் காணப்படும்

சுழல் இழைகளாக அமைந்த முகில்களைப்போல் திடத் துகள்களினாலான முகில்களாக இருக்கலாம். வெள்ளியைச் சூழ்ந்திருக்கும் முகில்களும் இவ்வாறேயாகும்.

நம் புவியில் உள்ளதைப்போன்று வெள்ளியில் தாவரவகைகள் இல்லை என்பதைப் பார்த்தோம். அதேபோல், செவ்வாயின் வளி மண்டலத்தில் ஆக்சிஜனும், கரியமிலவாயுவும் இல்லாததனால், இதிலும் தாவரவகைகள் இல்லை என்று சொல்லலாம். இந்தக் கோளில் உள்ள சில இருள் சூழ்ந்த பகுதிகள், நிறத்திலும் அளவிலும் பருவத்திற்கு ஏற்ப மாறுகின்றன. கடந்தகாலத்தில் இந்த அமைப்பு தாவரங்களின் இருப்பினால் ஏற்படுகின்றது என்று நினைத்தார்கள். ஆனால், இப்பொழுது நமக்குக் கிடைத்த உண்மைகளால் இஃது ஒரு வளி இயல் நிகழ்ச்சியாக இருக்கலாம் என்று கூறலாம்—அதாவது மெல்லிய பனிக்கட்டித் தொப்பிகள் உருகி மழையாகக் கற்களிலும், சாம்பல்களிலும் பெய்வதனால் இருக்கலாம். செவ்வாயினுடைய மேற் புறத்தில் ஒளியின் பல நிறங்களைத் திருப்பும் திறன், துருவகரணத் திறன் இவைகளை ஆராய்ந்தால் இந்த மேற்புறம் சந்திரனுடையதைப் போல் லாவா, எரிமலைச் சாம்பல் இவைகளினால் ஆக்கப்பட்டது என்று சொல்லலாம். இந்தக் கோளின் மேற்புறம் சிவப்பு நிறமாக இருக் கிறது. இதற்குக் காரணம் கற்கள், தாதுப்பொருள்கள் இவைகளின் ஆக்சிஜன் ஏற்றமாக (oxidation) இருக்கலாம். அதாவது, ஏற்கெனவே தூய ஆக்சிஜன் ஏதாவது இருந்தால் அதைச் சேர்த்துக்கொண்டுவிடும் இந்தக் கற்களும், தாதுப்பொருள்களும். ஆகையினால், செவ்வாயைப் பற்றிப் பொதுவாகக் கூறினால் இது சந்திரனைவிடப் பெரியதும், குளிர்ச்சியானதுமான ஒரு கோள். இஃது அளவில் பெரிதாக இருப் பதனால் வளிமண்டலத்தை ஓரளவுக்குக் கட்டிக்காத்து இதனால் மழை, முகில், மூடுபனி இவைகளையுடையதாகும் என்று கூறலாம்.

செவ்வாயில் பிரசித்திபெற்றதான ‘வாய்க்கால்கள்’ (canals) என்பது இன்றும் வாதிக்கத்தக்க ஓர் அமைப்பாகும். இதைப்பற்றிய வாதம் முன்பைவிட இப்பொழுது குறைந்துவிட்டது. சிலர் இந்தக் கோளின் மேற்புறத்தில் நேர்க்கோடுகளைக் கண்டதாகச் சொல்லு கிறார்கள். இவர்கள் இந்த மேற்புறத்தின் நிற அமைப்பில் வெளிப் பட்டு நிற்கும் தோற்றங்களை ஒன்றாகச் சேர்த்துவிடுகின்றார்கள். இதை, செவ்வாயில் இப்பொழுதோ, அல்லது இப்பொழுதைவிட அதிக வெப்பமாக இருந்த காலத்திலோ வசித்தவர்களின் செயல் விளைவாகத் தான் இருக்கவேண்டும் என்று சிலர் கருதுகிறார்கள். அநேக உண்மைகள் இந்த விளக்கத்தை ஐயுறுமாறு செய்கின்றன. இதற்கு ஒரு மறுப்பு என்னவென்றால், இம்மாதிரியான கோடுகள் புதனிலும், வியாழனின் துணைக்கோள்களிலும். காணப்பட்டன. ஆனால், இவை களில் இம்மாதிரியான அறிவுத்திறனுடைய உயிர்ப் பொருள்கள்

இருப்பது அரிதாகும். இன்னும் சொல்லவேண்டுமென்ருல் வெள்ளியை முகில் சூழ்ந்திருப்பதால் அதன் மேற்புறத்தில் இம்மாதிரியான கோடுகளைக் காணமுடியாது. ஒரு பிரசித்திபெற்ற நோக்காளர் (observer) செவ்வாயில் இரட்டைக் கால்வாய்களைக் கண்டதாகக் கூறியுள்ளார். ஆனல் இவை, அவருடைய தொலைநோக்கியின்மூலம் பார்த்தாலும் நம் கண்ணுக்குத் தனியாகக் காணப்படாது. ஏனென்ருல், அவை மிகவும் நெருங்கி அமைந்திருக்கின்றன. நம் கண்ணுல் ஒரு பொருளைக் குறைந்த ஒளியில் காணும்பொழுது அதில் உள்ள தனிப்பட்ட இடங்கள் எல்லாம் ஒரே கோட்டில் இருப்பதுபோல் தென்படும்—பள்ளிப் பிள்ளைகளைக் குறைந்த வெளிச்சத்தில் அதிக தூரத்தில் உள்ள ஒரு வரைபடத்தை வரையச் சொன்னுல் இம்மாதிரியாகத்தான் செய்வார்கள். இந்த நிலைகளில் ஒளிப்படக் கருவியை நம்பலாம். ஆனல், நம் பிரச்சினையைத் தீர்க்க ஒளிப்படக் கருவி தகுதியுள்ளதாக இல்லை. ஒளித் தகடுகளில் உள்ள கூலங்களின் அமைப்பு ஒளிப்படக் கருவியின் நுணுக்கங்களைப் பாதிக்கின்றது. அதாவது இதன்மூலம் மிகநுண்ணிய பொருள்களைப்பற்றி அறிய முடியாது. இஃது, ஒளியின் அலை-நீளத்தின் வரம்பு நம் கண்ணினுல் பார்க்கும் திறனைக் கட்டுப்படுத்துவது போலாகும். செவ்வாயின் கால்வாய்கள் மிக நுண்ணியவைகளாக இருப்பதனுல் இவைகளை ஒளிப்படக் கருவியின் துணையால் பார்க்க முடியாது. இதன்மூலம் 'பிரஷ்' போன்ற கோடுகளைப் பார்க்கலாம். ஆனல், இவை வாய்க்கால்களுக்குப் பொருந்தியவை அல்ல. இதனுல் இந்த வாய்க்கால்கள் உண்மையான அமைப்பு அன்று என்றும், இஃது ஒரு மாயை என்றும், இந்த மாயை செவ்வாயில் உள்ள அனைத்தையும் காணவேண்டும் என்ற ஆர்வத்தினுல் ஏற்பட்டதாகும் என்றும் அநேக வானவியல் அறிஞர்கள் கருதுகின்றனர்.

1941ஆம் ஆண்டு செவ்வாயைப் பார்ப்பதற்கு ஏற்றகாலமாக இருந்ததனுல் லையோட், ஜென்டிலி (Lyot, Gentili) என்ற இருவர் ஒரு 38 செ.மீ. தொலைநோக்கியை பிக் டு மிடி (Pic du Midi) என்ற மலையின்மேல் உள்ள ஒரு சோதனைக்கூடத்திற்கு எடுத்துச் சென்று அங்குத் தொடர்ச்சியாகப் பல காட்சிகளை இந்த மலையின் தெளிவான சூழ்நிலையில் ஒளிப்படத்தின்மூலமும், நேரிலும் கண்டறிந்தனர். அவர்களால் வரையப்பட்ட படங்களில் சில உருவங்கள் இதற்குமுன் கண்டறிந்த உண்மைகளுக்கு ஒத்ததாக அமைந்தன. குறிப்பாக, மேற்சொன்ன கோடுகளுக்கு ஒத்த கோடுகளும் அதில் வரையப்பட்டிருந்தன. ஆனல், ஒளிப்படத்தின் நெகடிவ்களை (photographic negatives) அவர்கள் கையாண்டவிதம் ஒரு விநோதமாக இருந்தது. லையோட் என்பவர் நூற்றுக்கணக்கான தகடுகளை 18 வரிசை கூட்டு ஒளிப்படங்களாக்கி இதனுல் மேற்சொன்ன கூலங்களின் பாதிக்கும் விளைவுகளை நீக்கினுர். ஆகையினுல், இந்த ஆராய்ச்சியாளர்கள் தங்கள்

கண்களினுல் நேரிடையாகப் பார்த்து வரையப்பட்ட கோடுகளும் மேற் சொன்ன வகையில் ஒளிப்படமாக்கப்பட்ட படங்களிலுள்ள கோடுகளும் ஒன்றுக்கொன்று பொருத்தம் உடையதென்று கருதினுர்கள். இதனுல் செவ்வாயின் பிரச்சினை ஒரு புதியவிதமாக மாறிவிட்டது.

வியாழனும் சனியும்

கெட்டியான ஒரு மேற்புற அமைப்பைக்காண செவ்வாய்க் கோளே கடைசியாகும். புளூடோ என்பது ஓர் ஒளிப்புள்ளியாகக் காணப் படுவதால் இதன் அமைப்பு என்னவென்று சொல்லமுடியவில்லை. இருந் தாலும், புளூடோவைத்தவிர, செவ்வாய்க் கோளுக்கு அப்பால் உள்ள கோள்களெல்லாம் புவியைவிட அதிகப் பொருண்மையுடையவைகளாக உள்ளன. இவை இதேபோல் குளிர்ந்ததாகவும் இருக்கின்றபடியால் இவைகளுக்கு ஆழ்ந்த வளிமண்டலங்கள் இருக்கவேண்டும். முனைப் பான ஆராய்ச்சியின் விளைவாக இஃது உண்மை என்று தெரிகிறது.

ஒளியின் பலநிறங்கள் பலவித ஊடுருவுத் திறனுடையதாக உள்ளன என்றும், இதில் அகச் சிவப்புக் கதிர்கள்தான் அதிக வலிமையுடைய தாகும் என்றும் பார்த்தோம். வியாழன், சனி இவைகளின் வளி மண்டலங்கள் மிகவும் ஒளிபுகாத் தன்மையதாக உள்ளதனுல் இவை களில் அகச் சிவப்புக் கதிர்கள்கூட ஊடுருவிச் செல்ல இயலவில்லை. ஒளியின் பல நிறங்களைக்கொண்டு—அகச் சிவப்புக் கதிர்கள் உட்பட— இவைகளை ஒளிப்படமாக்கியதில், நிரந்தர அமைப்புகள் ஒன்றும் காணப்படவில்லை. வளிமண்டலத்தைச் சேர்ந்த, அடிக்கடி மாறும் ஒரு வித காட்சி காணப்படுகின்றது. வியாழன் சராசரி அடர்த்தி நீரி னுடையதைப்போல் 1·34 மடங்காகும். சனியின் அடர்த்தி இதை விடக் குறைவானது. அதாவது 0·71 மடங்காகும். இந்த அடர்த்தி களின் குறைந்த அளவுகள், இக் கோள்களில் பெரும்பகுதிகள் வாயு வினுல் ஆனவை என்பதைக் காட்டுகின்றன.

இதைப்பற்றிய இன்னும் சில தகவல்கள் வேண்டுமாயின் இந்தக் கோள்களின் வடிவ அமைப்புகளைத் தொலைநோக்கியின்மூலம் கண்டு ஆராயவேண்டும். இவை, புவியைவிடத் தட்டையாகவும், ஆரஞ்சு வடிவமாகவும் இருக்கின்றன. ஒரு சுழலும் பொருளின் தட்டை உருவம், அதன் சுழற்சிப் போழ்தையும், அதன் பொருண்மையின் நடுப்புறப் பரவலையும் பொறுத்திருக்கின்றது. இஃது (உருவம்), அதன் பரிமாணத்தைப் பொறுத்தில்லை. A, B என்ற ஏதேனும் இரண்டு உருவங்களில் A என்னும் உருவத்தில் பொருண்மையின் நடுப்புறப் பரவல் சீராகவும், B என்னும் உருவத்தில் மையத்தைச் சுற்றி திரட் டாகவும் இருப்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். அப்பொழுது, இரண்டும் ஒரே வேகத்தில் சுழன்றுல், B என்னும் உருவம் A என்னும் உருவத்தை

விடத் தட்டையாக இருக்கும். ஆகையினால், கோள்களின் உட்புற அமைப்புகளைப்பற்றித் தெரிந்துகொள்ள, அவைகளின் சுழற்சி வேகத்தையும், அவை எவ்வளவு தட்டையாக இருக்கின்றன என்பதையும் ஆராய்ந்தால் போதும்.

வியாழன், சனி இவைகளின் சுழற்சிப் போழ்தை எளிதில் நிர்ணயித்து விடலாம். ஏனென்றால், இவைகளில் நிரந்தர அமைப்புகள் சில உள்ளன. வியாழன் 10 மணி நேரத்திற்கு ஒரு முறையும், சனி $10\frac{1}{2}$ மணி நேரத்திற்கு ஒரு முறையும் சுழல்கின்றன. புவியும், இதே வேகத்தில் சுழன்றால், வியாழன், சனி இவைகளின் அளவில் தட்டையாகாது. ஆகையினால், இந்த இரண்டு கோள்களும் அவைகளின் மையங்களைச்சுற்றி அதிக திரட்டான பொருண்மைகளை உடையனவாகும் என்று சொல்லலாம். அதாவது, ஒரு சிறிய திடமான நடுப்புறத்தைச் சுற்றி ஒரு விரிந்த வளிமண்டலம் சூழ்ந்திருக்கும் ஓர் அமைப்பைப் போன்றதாகும்.

இந்தக் கோள்கள் ஒவ்வொன்றும் நடுவில் பாறைப்பகுதியுடையதாயும், இதைச் சுற்றி கெட்டியான பனிக்கட்டி யிருப்பதாயும், இதற்கு அடுத்து ஆழ்ந்த வளிமண்டலத்தினால் சூழப்பட்டிருக்கவேண்டும் என்றும் ஜெஃப்ரீஸ் என்பவர் கருதுகிறார். இப்படி இருக்குமாயின், வியாழனின் பாறைப்பகுதியாலாகிய நடுப்புறம் 22,000 மைல் அரை விட்டமுடையதாகவும், இதைச்சுற்றி 16,000 மைல்கள் கனத்திற்குப் பனிக்கட்டியும், இதைச் சுற்றி 6000 மைல்கள் கனத்திற்கு வளிமண்டலமும் இருக்கவேண்டும் என்று வில்ட் என்பவர் கணக்கிட்டிருக்கிறார். இந்த வளிமண்டலத்தின் சராசரி அடர்த்தி 0·78 ஆகும். இந்த அமைப்பு படம் 23-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

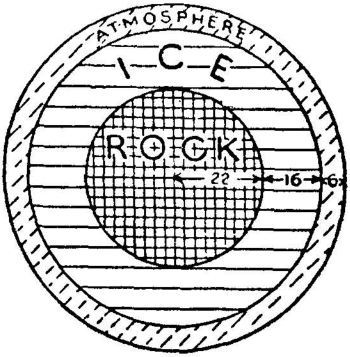
சனியின் அமைப்பு, அஃது இன்னும் குறைந்த சராசரி அடர்த்தியுடையதனால் (0·71) இதைவிடச் சிறப்பானதாகும். சனியில், பாறையாலாகிய நடுப்புறம் 14,000 மைல்கள் அரைவிட்டமுடையதாயும், இதைச்சுற்றி 6000 மைல்கள் கனத்திற்குப் பனிக்கட்டியும், இதையும் சுற்றி 0·41 சராசரி அடர்த்தியுள்ள ஒரு வளிமண்டலமும் இருக்கின்றன. அதாவது, பாறைகளும் பனிக்கட்டியும் சேர்ந்து அதன் மொத்த கனபரிமாணத்தில் 5-ல் ஒரு பங்காகத்தான் இருக்கும்; மிகுதியுள்ளது வளிமண்டலமாகும் (படம் 24).

புவியோடு ஒப்பிட்டுப் பார்க்கும்பொழுது மேற்சொன்ன இரண்டு வளிமண்டலங்களும் மிகப் பொருண்மையுடையனவாகவும், இதனால் அதிக அமுக்கத்தை ஏற்படுத்துவனவாகவும் இருக்கும். இந்த அமுக்கம், சனியில், புவியின் அமுக்கத்தைப்போல் சதுர கெஜத்திற்கு 1,000,000 மடங்காகவும், வியாழனில் 700,000 மடங்காகவும் இருக்

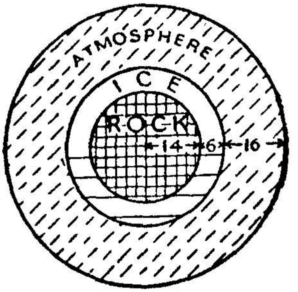
கின்றது. இந்த இரண்டு கோள்களிலும், ஈர்ப்புவிசை புவியைவிட அதிகம். ஆகையினால், இவைகளின் வளிமண்டலங்களில் பெரும் பகுதி, புவியின் வளிமண்டலத்தைப்போல் குறைந்தது ஒரு மிலியன் மடங்காவது அமுக்கச் சக்தியையுடையனவாகும்.

இந்த அளவில் உள்ள அமுக்கங்கள், அநேகப் பொருள்களை, நீரைவிட அதிக அடர்த்தி அளவிற்குச் சுருக்கிவிடும். இந்தப் பொருள்களில் முக்கியமானவை ஹைட்ரஜனும், ஹீலியமும்—தனிமங்களில் மிக இலேசானவை—மற்றபடி கூட்டுப்பொருள்களான மீதேன், ஈதேன், அம்மோனியா முதலியவைகளாகும். இந்தக் கூட்டுப்பொருள்கள் அனைத்தும் ஹைட்ரஜனை முக்கிய உறுப்பாக உடையதால் இவைகளின் அடர்த்தி, அமுக்க நிலையில் குறைவானதாயிருக்கின்றன. வியாழன், சனி இவைகளின் வளிமண்டலங்கள் குறைந்த அடர்த்திகளையுடையனவாயிருப்பதால் இவை, மேற்சொன்ன ஐந்து பொருள்களைப் பெரும்பான்மையளவில் உடையனவாகும்.

ஹைட்ரஜனும், ஹீலியமும் இவைகளில் அதிக அளவில் இருக்க வேண்டும். ஏனென்றால், ஞாயிற்றின் வெளி அடுக்குகளில் இவை பெரும்பான்மையாக இருக்கின்றன. மேலும், இரண்டு கோள்களும் அதிகப் பொருண்மையுடையனவாகையால், மிக அதிக வெப்பத்திலும், இந்தப் பொருள்களை எளிதில் கட்டிக்காக்கும். துரதிர்ஷ்டவசமாக,



படம் 23.
சராசரி அடர்த்தி 1·34 ;
வளிமண்டல அடர்த்தி 0·78
வியாழன்



படம் 24.
சராசரி அடர்த்தி 0·71 ;
வளிமண்டல அடர்த்தி 0·41
சனி

இவைகளை நிறமாலை முறைப்படி நிர்ணயிக்கமுடியவில்லை. நிறமாலைச் சோதனையில் மீதேனும் அம்மோனியாவும்தான் காணப்படுகின்றன. தெளிவில்லாத, பயனற்ற ஆவிக்கூட்டம்தான் காணப்படுகிறது. அவற்றிலும், அம்மோனியா அதிக அளவில் காணப்படவில்லை ; மீதேன்

அதிகமாயிருக்கின்றது. இந்த இரண்டு வாயுக்களும், வியாழன், சனி இவைகளின் வளிமண்டலத்தின் உட்கவர்ச்சியில் அதிக அளவு காணப்படுகிறது என்பது வியக்கத்தக்கது. இதைத்தவிர வேறு எதுவாகிலும், ஹைட்ரஜன், ஹீலியம் இவைகளைப்போல் நிறமாலைச் சோதனைக்குட்படாமலோ அல்லது மிகச்சிறிய அளவிலோ இருப்பதாக வைக்கலாம்.

யுரேனஸும் நெப்டியூனும்

ஞாயிற்றிலிருந்து இன்னும் அதிக தூரத்தில் யுரேனஸும் நெப்டியூனும் இருக்கின்றன. இவை குளிர்ச்சியாகவும், சிறிய அளவில் வியாழன், சனி இவைகளைப்போலும் உள்ளன. வியாழனின் வெப்பநிலை, கண்டறியப்பட்டவரையில் —138°C ஆகவும் சனியின் வெப்பநிலை —153°C ஆகவும் இருக்கின்றன. யுரேனஸின் வெப்பநிலை —183°C-க்குக் குறைவாகவும், நெப்டியூனின் வெப்பநிலை இன்னும் குறைவான அளவில் —210°C ஆகவும் இருக்கின்றன. இந்த இரண்டு கோள்களிலும் பனிக்கட்டியின் அடுக்கு 6000 மைல்கள் பருமனுகவும் இவைகளைச் சுற்றியுள்ள வளிமண்டல அமைப்பு யுரேனஸில் 3000 மைல்கள் ஆழத்திற்கும், நெப்டியூனில் 2000 மைல்கள் ஆழத்திற்கும் இருக்கின்றன. ஆகையினுல், பொது அமைப்பைப் பொறுத்தவரை இவை இரண்டும் வியாழன், சனி இவைகளைப்போன்றவையாகும். இந்தக் கோள்களின் நிறமாலைகளும், வியாழன், சனி இவைகளுடையதைப்போன்றே உள்ளன. ஆனுல், மீதேன் அதிக அளவில் இருப்பது மட்டுமே தெளிவாக இருக்கிறது. அம்மோனியாவைப்பற்றி ஒன்றும் தெரியவில்லை. இந்த இரண்டு கோள்களும் மிகவும் குளிர்ந்திருப்பதனுல் இவைகளின் வளிமண்டலத்தில் உள்ள அம்மோனியா அப்படியே உறைந்திருக்கவேண்டும் என்று கூறலாம். மற்றும் எஞ்சியுள்ள புளூடோ மிகத்தொலைவில் உள்ளதனுல் இதை நிறமாலைச் சோதனையின் மூலம் ஆராயமுடியவில்லை.

புளூடோவை விலக்கி, கோள்களை ஒரு குடும்பமாக எடுத்துக்கொண்டு, இந்தக் குடும்பத்தின் பௌதிக ஓவியத்தைக் காணலாம். வெள்ளியையும் புவியையும்பற்றி பிறகு ஆராயும்பொருட்டு இவைகளை மேற்சொன்ன ஓவியத்தில் விட்டுவிடலாம். எச்சமாக நாம் காண்பது வரிசையாக புதன், செவ்வாய், வியாழன், சனி, யுரேனஸ், நெப்டியூன் ஆகும். இவைகளின் பௌதிக நிலைகள் இந்த வரிசைக்கேற்ப மாறும். அதாவது வரிசைக்கிரமத்தில் மிகவெப்பமான கோளிலிருந்து குளிர்ந்த கோள்கள்வரை இதில் இருக்கின்றன. இந்த வரிசையில் வறண்ட பிரதேசத்திலிருந்து நீர், பனிக்கட்டி இவை நிரம்பிய இடத்திற்குச் செல்வோம். வளிமண்டலங்களும் ஆழத்திலும், பரப்பிலும் அதிகரித்துக்கொண்டே போகின்றன. ஹைட்ரஜனும் போதப்போக அளவில்

அதிகரிக்கின்றது. இது தூய ஹைட்ரஜனைகவும் அல்லது ஹைட்ரஜனின் கூட்டுப்பொருளாகவும், குறிப்பாக மீதேனைகவும் காணப்படும்.

இந்த மாறுபாடுகளுக்குக் காரணங்கள் யாவை என்பது தெரிந்ததாகும். ஞாயிற்றுக்கு அண்மையில் உள்ள கோள்கள் ஞாயிற்றிலிருந்தே அவைகளின் வெப்பத்தைப் பெறுவதனுல் மிக வெப்பமுடையனவாக இருக்கின்றன. இவைகளின் பரிமாணங்கள் சிறியதாகவும் வெப்பம் அதிகமாயும் இருப்பதனுல் இவை வறட்சியானதாக உள்ளன. இப்பொழுதில்லாவிட்டாலும் முன்பு அதிக வெப்பமுடையதாக இருந்திருக்கலாம். இதே காரணத்தினுல் இவைகளில் ஹைட்ரஜனேயும் காணமுடியவில்லை.

இரட்டைக் கோள்களான வெள்ளியும், புவியும் மேற்கூறிய வரிசையில் பொருந்துவதில்லை. ஓரளவு இதற்குக் காரணம், இவைகள், அடுத்துள்ள புதன், செவ்வாய் இவ்விரண்டு கோள்களேயும்விட அதிகப் பொருண்மையுடையனவாக இருப்பதால் தங்கள் வளிமண்டலங்களே அதிக அளவில் கட்டிக்காக்கின்றன என்பதேயாகும். இந்த நிலேயை ஒப்புக்கொண்டால், மற்றபடி வெள்ளி மேற்சொன்ன வரிசைக்கு, ஏறக்குறைய பொருந்தியதாகிவிடும். ஆனுல், புவியின் வளிமண்டலத்தில் அதிக அளவில் ஆக்சிஜனும், நீராவியும் இருப்பதனுல் இதன் பொருத்தம் சரியாக அமையாது. இதற்குக் காரணம் அதன் மேற்புறம் தாவரத்தினுல் மூடப்பட்டிருப்பதேயாகும். புவியில் வாழ்க்கையேற்பட்டு மேற்சொன்ன வரிசையில் இதைச் சேர்க்கவிடாமல் ஆக்கிவிட்டது—அதாவது இது தனித்து நிற்கிறது என்று பொருளாகும்.

சமீபகாலம்வரை ஞாயிறு தொடர்ச்சியாகக் குளிர்ந்துகொண்டே இருக்கின்றது என்றும், இத்துடன் கோள்களும் குளிர்ந்துகொண்டே இருக்கின்றன என்றும் கருதப்பட்டது. இப்பொழுது புவி எப்படி அமைந்திருக்கின்றதோ அதேபோல்தான் சிறிதுகாலத்திற்குமுன் செவ்வாயும் இருந்திருக்கவேண்டும் என்றும், இன்னும் சிலகாலங்களில் சந்திரனும் இதேபோல் அமையும் என்றும் கருதினுர்கள். இப்பொழுது, புவியொன்றே உயிரினங்களேயுடையதாகும். இருப்பினும், செவ்வாயில் உயிர்கள் அழிந்துவிட்டன என்றும், வெள்ளியில் உயிரினங்கள் இனித்தான் ஏற்படவேண்டும் என்றும் சொல்லலாம். இஃது உண்மையாக இருக்கலாம். ஆனுல், இதைத் தற்போது நமக்குக் கிடைத்த ஆதாரங்களேக்கொண்டு உறுதி செய்யமுடியவில்லே. இந்த முடிவு, விண்மீன்களின் படிமுறை வளர்ச்சியைப்பற்றிய கோட்பாடுகளிலிருந்து கிடைத்ததாகும். ஆனுல், இந்தக் கோட்பாடுகள் இப்பொழுது நிராகரிக்கப்பட்டுவிட்டன. நமக்குப் புதிதாகக் கிடைத்திருக்கும் தகவல்கள், இந்தப் பிரச்சினேக்கு ஒரு புதிய ஆராய்ச்சி வழியைக் கொடுக்கின்றன.

ஞாயிறு அதன் கதிர்வீச்சுக்கு வேண்டிய ஆற்றலை அதன் பொருளின் அணுவின் உட்புற மாற்றமைப்பினால் பெறுகிறது என்று தற்போது கருதப்படுகிறது. மேலும் இந்த மாற்றமைப்பில் இலேசான தனிமங்கள் சேர்ந்து கனமானவைகளாக மாறுகின்றன. இதனால் ஞாயிற்றின் இயைபுக்கூட்டு தொடர்ந்து மாறிவருகிறது. ஆனால், அதன் பொருண்மை அதிகமாக மாறுவதில்லை. முதன்மைத் தொடரில், ஞாயிற்றைப்போன்ற பொருண்மையை உடைய விண்மீன்கள் ஞாயிற்றினுடையதைப்போன்ற அளவிலேயே கதிர்வீச்சை வெளிப் படுத்துகின்றன என்பது நமக்குத் தெரிந்ததே. ஞாயிற்றின் பொருண்மையையுடைய முதன்மைத் தொடரைச் சேர்ந்த ஒரு விண் மீனின் கதிர்வீச்சு ஞாயிற்றின் கதிர்வீச்சின் அளவிலேயே இருக்கும்; அதிக வித்தியாசமாக இருக்காது. ஆகையினால், ஞாயிற்றின் பொருண்மையையுடைய ஒரு விண்மீனின் கதிர்வீச்சு, அது முதன்மைத் தொடரைச் சேர்ந்ததாக இருக்கும்வரை, அதிக அளவு மாறுபடாது. ஆகையினால், கோள்களின் வெப்பநிலைகளும் சிறிதுகூட மாறுபடாது. செவ்வாய், இப்பொழுது உள்ளபடியே குளிர்ந்ததாக முன்பும் இருந் திருக்கவேண்டும். இதற்கு முன்பு, ஞாயிற்றிலிருந்து கிடைத்த வெப்பத்தையே உடையதாக இருந்திருக்கும். ஞாயிறு அதன் ஒளி மூலங்களை எல்லாம் பயன்படுத்திவிட்டுக் குளிர்ந்து, குறுகி, வெள்ளைக் குறுமீனாக மாறும் காலம்வரை வெள்ளி தற்போதைய வெப்பத்தினை நிறைவாக வைத்திருக்கும். இஃது உண்மையானால், கோள்களின் வரிசையில் உயிரினங்கள் படிப்படியாக வளர்ச்சியடைகின்றன என்ற கருத்து மெய்யானதாகாது. புவி, உயிரினங்களின் கோளாகும். ஏனென்றால், ஞாயிற்றிலிருந்து சரியான தூரத்தில் இஃது அமைந்திருக் கின்றது. ஆனால், இம்மாதிரியான உயிரினங்கள்—நூற்றுக்கணக்கான மிலியன் ஆண்டுகளில் வளர்ச்சியடைந்த உயிரினங்கள்—செவ்வாயில் இருந்திருக்கவேண்டும் என்றோ, வெள்ளியில் இனித் தோன்றலாம் என்றோ நினைப்பதற்குப் போதிய காரணங்கள் இல்லை. இந்த இரண்டு கோள்களும் ஞாயிற்றிலிருந்து அதற்கான சரியான தூரத்தில் அமையவில்லை.

7. முதலும் முடிவும்

பேரண்டத்தின் திடப்பொருள் நம் புலனுக்குப் புலப்படாத கதிர் வீச்சாகத் தொடர்ந்து மாறிவருகிறது என்பதைப் பார்த்தோம். ஞாயிறு இன்றைவிட, நேற்று 360,000 மிலியன் டன்கள் அதிக எடையுள்ளதாக இருந்தது. இந்த எடை வேறுபாடு 24 மணி நேரத்தில் வெளிப்பட்ட கதிர்வீச்சின் காரணத்திலுலாகும். இந்தக் கதிர்வீச்சு, நாம் நேர்முறையில் கண்டறிந்தவரை, காலம் முழுவதும் வான வெளியில் பயணமாகும். இந்தக் கதிர்வீச்சு, 1 கிராமிற்கும் குறைந்த எடையில், ஒரு பெரிய நீராவிக்கப்பலை அட்லான்டிக் (Atlantic) பெருங் கடலில் ஓட்டிச் செல்லும் ஆற்றலை உடையதாகவும், ஒரு பௌண்டு எடையில் பிரிட்டிஷ் நாட்டிற்கு 15 நாட்களுக்கு வேண்டிய ஆற்றலை—வீட்டடுப்பு, ஆற்றல் நிலையங்கள், தொழிற்சாலைகள், இரயில் வண்டிகள், கப்பல்கள் இன்னும் எல்லாவற்றிற்கும் வேண்டிய ஆற்றலை—உடையதாகவும் இருக்கும். இதேமாதிரி, பொருளை கதிர்வீச்சாக மாற்றும் தன்மை எல்லா விண்மீன்களிலும் இருக்கின்றன. புவியில் இதைவிடக் குறைந்த அளவில் இது நடக்கின்றது. விண்மீன்களின் இடைவெளியில் காணப்படும் காஸ்மிக் கதிர்வீச்சு (பக்கம் 118) இந்த மாறுதல் மிகப் பெரிய அளவில் நடக்கின்றது என்பதைக் காட்டுகின்றது.

சுழல் முறைகள் (Cyclic Processes)

பேரண்டத்தை மொத்தமாக எடுத்து ஆராயும்பொழுது மேற் சொன்ன முறைகள் ஒரு முழுச்சுழல் முறையில் ஒரு பகுதியாக இருக்கலாம் என்று நினைப்பது சகஜமாகும். ஆகையினுல், ஒரு பகுதியில், ஞாயிறு, விண்மீன்கள், புவி இவைகளில் ஏற்படும் கழிவுப்பொருள் இன்னொரு வகையில் பயன்படுத்தப்படலாம். ஓர் ஆற்றின் கரையில் நின்றுகொண்டு அதன் ஓட்டத்தில் கடலுக்கு நீரை எப்பொழுதும் கொண்டுசெல்வதைப் பார்த்தால் இது வீணுக்கப்படுமோ என்ற ஐயம் தோன்றும். ஆனுல், இந்த நீர் முகில்களாக மாறிப் பிறகு மழையாகப் பெய்து ஆற்றை நிரப்புகிறது. நம் பேரண்டம் இந்தமாதிரியான சுழல் முறையில் இயங்குகிறதா அல்லது ஓர் ஓடத்தில் உள்ள

தண்ணீரெல்லாம் வெளியேறித் திரும்பவும் நீரைப்பெற வழியே யில்லாமல் இருக்கும் நிலையை ஒத்ததாகுமா?

வெப்ப இயக்க இயல் (Thermodynamics)

மேற்சொன்ன கேள்விக்கு, வெப்ப இயக்க இயலின் இரண்டாம் விதி என்று சொல்லப்படும் பரந்த விஞ்ஞான முறை பொதுப்படையான வழியில், ஒரு விடையை அளிக்கின்றது. நாம் காணும் எல்லாவித இயக்கங்களுக்கும் மூலகாரணம் யாது என்று வினவினுல், இதற்குக் காரணம் ஆற்றலேயாகும் என்ற விடையைப் பெறுவோம். நம்முடைய கப்பல்கள், இரயில் வண்டிகள், மோட்டார்கள் இவைகளை இயக்கும் இயைபு ஆற்றலும், நம்முடைய உயிரைக் காத்து நம் தசைகளை இயங்கவைக்கும் உணவு, புவியின் இயக்கத்திற்கு ஆதாரமான பொறி ஆற்றல், இரவு பகல் மாற்றம், கோடைக்கால குளிர்கால மாற்றம், அதிக அலையெழுச்சி, குறைந்த அலையெழுச்சி இந்த மாற்றம் எல்லாம் இதனுல் தான் ஏற்படும். மற்றும் நம்முடைய விளைவு, காற்று, மழை இவை களுக்கெல்லாம் காரணமான ஞாயிற்றின் வெப்ப ஆற்றலும் இந்த வகையைச் சேர்ந்ததாகும்.

வெப்ப இயக்க ஆற்றல் நூல், முக்கியமாக ஆற்றல், இந்த ஆற்ற லின் பலவித மாற்றங்கள் இவைகளைப்பற்றியே முக்கியமாக ஆராய் கின்றது. இது வெப்ப இயக்க இயலின் முதல் விதி, இரண்டாம் விதி என்று சொல்லப்படும் இரண்டு விதிகளையே ஆதாரமாகக் கொண்டிருக் கின்றது. இந்த இரண்டு விதிகளும் முறையே ஆற்றலின் அளவு, தன்மை இவைகளைப்பற்றி ஆராய்கின்றன.

வெப்ப இயக்க இயலின் முதல் விதி

வெப்ப இயக்க இயலின் முதல் விதி 'ஆற்றல் அழியாக் கொள்கை'யை அடிப்படியாகக் கொண்டதாகும். இதன்படி ஆற்றல் அழிக்கமுடியாத ஒரு பொருளாகும். இந்த ஆற்றல் ஒருவகையிலிருந்து இன்னெரு வகைக்கு மாறும். ஆனுல், பேரண்டம் முழுவதிலும் உள்ள மொத்த ஆற்றல் எப்பொழுதும் குறையாது. எல்லாவித உயிர்களுக்கும் மூலமாக இருக்கும் ஆற்றல் அழிவற்றிருப்பதனுல், இந்த உயிர்களும் அளவில் குறையாது வாழும் என்று நாம் நினைக்கலாம்.

ஆற்றல் கிடைக்கும் வகை

வெப்ப இயக்க இயலின் இரண்டாம் விதி, இது சரியானதன்று என்ப தைக் காட்டுகிறது. ஆற்றல் அதன் அளவில் குறைவதில்லை; ஆனுல், அதன் தன்மையில் மாறுகிறது. இந்த இரண்டு பண்புகளையும், ஒரு மலையில் மேலே ஏறிச்செல்வதற்கும், கீழே இறங்கிச் செல்வதற்கும்

ஒப்பிடலாம். அப்பொழுது, கீழே இறங்குவது எளிதென்பது தெரிந்த தாகும்; ஆனால், மேலே ஏறுவது மிகவும் கடினமாகும். இதை முடியாத காரியம் என்றும் சொல்லலாம். ஆகையினால், ஆற்றலை ஒரு திசையில் செல்லும் ஓர் அமைப்பாகக் கருதலாம்.

ஆற்றல் ஏறும் திசையிலும் செல்லும் என்பது நடக்காத காரிய மன்று. ஏனென்றால், வெப்ப இயக்க இயலின் இரண்டாம் விதி யூக அளவைகளையே அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்கின்றது; நிச்சய அளவுகளை அல்ல. இந்த யூக அளவைகளும் சாதாரணமானவையல்ல. ஆகையினால், பொறிநுட்பவியல் விதிகளின்படி ஆற்றல் மேற்சொன்ன ஏறும் திசையில் தன்மை மாற்றத்தை அடையும் என்று சொல்லலாம். இந்த மாறுதலுக்குப் பேரண்டம் முழுவதிலுமாயினும் அல்லது இதில் ஒரு பெரும்பகுதியிலாயினும், பலத்த எதிர்ப்பு இருக்கும். பேரண்டத் தில் உள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கை 10^{79} ஆகும். ஆகையினால், இதற்கு எதிர்ப்பு யூக அளவைப்படி 10^{79} அளவில் இருக்கும். இந்த மாதிரியான எதிர்ப்புகள் இருக்கும்பொழுது, அதிக எதிர்ப்புகளுக்கும் உறுதிகளுக்கும் நுட்பமாக வேற்றுமைப்படுத்த வேண்டாம்.

உதாரணமாக, ஒளியும் வெப்பமும் ஆற்றலின் தோற்ற முறை களாகும். ஒரு மிலியன் எர்க் ஒளி ஆற்றலை ஒரு மிலியன் எர்க் வெப்ப ஆற்றலாக மாற்றிவிடலாம். ஒளி குளிர்ந்திருக்கும் ஒரு கருமையான மேற்புறத்தின்மேல் பட்டால் இந்த மாறுதல் ஏற்படும். இதைத் திரும்பவும் முன்போலவே மாற்றவேண்டுமென்றால், மேற்சொன்னபடி நடக்காத காரியமாகும். ஒரு மிலியன் எர்க் வெப்பத்தை மறுபடியும் ஒரு மிலியன் எர்க் ஒளியாக மாற்றமுடியாது. இது, கதிர்வீச்சால் வெளிப்படும் ஆற்றல் அதிக அலைநீளத்தை உடைய ஓர் அமைப்பிற்கு மாறும், குறைந்த அலைநீளத்தையுடைய அமைப்பிற்கன்று என்ற ஒரு பொதுப்படை விதியின் ஒரு தனிப்பகுதியாகும். பொதுவாக, தானே ஒளிரும் ஓர் ஒளியின் அலைநீளம் அதிகரிக்கும். இது நீல ஒளியைப் பச்சை ஒளியாகவோ, மஞ்சள் ஒளியாகவோ அல்லது சிவப்பு ஒளி யாகவோ மாற்றும். ஆனால் சிவப்பு ஒளியை, மஞ்சள், பச்சை அல்லது நீல ஒளிகளாக மாற்றாது. இந்தப் பொதுப்படை விதிக்குச் சில விலக்குகள் உண்டு. ஆனால், இந்த விலக்குகளுக்குத் தனிப்பட்ட விளக்கங்களைத் தரலாம். இது மேற்சொன்ன பொதுவிதியைப் பாதிக்காது.

தினமும் நடைபெறும் நெருப்பை உண்டாக்கும் முறை மேற் சொன்னவற்றை உண்மையல்ல என்று காட்டுகிறது. ஞாயிற்றினுடைய வெப்பம் நாம் எரிக்கும் நிலக்கரியில் சேமிக்கப்படவில்லையா? அல்லது நிலக்கரியை எரித்து அதிலிருந்து ஒளியைப் பெறவில்லையா? உண்மை என்னவென்றால், ஞாயிற்றினுடைய கதிர்வீச்சு, ஒளி வெப்பம் இவை

களின் கலப்பாகும். விரிவாகக் கூறினால், பல அலைநீளங்களையுடைய கதிர்வீச்சுகளின் கலப்பு என்று சொல்லலாம். நிலக்கரியில் சேமிக்கப் பட்டிருப்பது, ஞாயிற்றின் ஒளியும் மற்றபடி குறைந்த அலைநீளங்களை யுடைய கதிர்வீச்சுகளுமே ஆகும். நாம் நிலக்கரியை எரிக்கும்பொழுது ஒளி கிடைக்கின்றது. ஆனால், ஞாயிறு அதற்குக் கொடுத்த அளவில் அல்ல; இதைவிடக் குறைவாகும். ஆனால், நிலக்கரியில் கிடைக்கும் வெப்பம், ஞாயிறு அதற்குக் கொடுத்த வெப்பத்தைவிட அதிக அளவி லிருக்கும். முடிவாக, ஒளியில் ஒரு பகுதி வெப்பமாக மாற்றப்பட்டு விட்டது என்று சொல்லலாம். இதனால், ஆற்றலை அளவுரீதியாகமட்டு மன்றி தன்மைரீதியாகவும் நினைத்துப்பார்க்கவேண்டும். இதன் மொத்த அளவு, வெப்ப இயக்க இயலின் முதல் விதிப்படி மாறாமல் இருக்கின்றது. ஆனால், இந்த ஆற்றலின் தன்மை ஒரே திசையில் மாறுகிறது. இது வெப்ப இயக்க இயலின் இரண்டாவது விதியாகும். ஆற்றலின் ஒவ்வொரு தன்மைக்கும் இடையில் ஒரு சுழல் சட்டத்தை வைத்திருப்பதுபோல் ஆற்றலின் மாற்றம் ஒரு திசையில்தான் மாறும்; இதற்கு எதிர்த்திசையில் மாறாது. மனிதர்கள் சுழல் சட்டத்தை எதிர் வழியில் கடக்க முடியும்; ஆனால், இயற்கையில் இம்மாதிரி செய்ய முடியாது. நீர், எப்படி மலையிலிருந்து கீழ்நோக்கிச் செல்லுகிறதோ அதேபோல்தான் ஆற்றலும் ஒரே திசையில் செல்லும்.

கீழ்நோக்கிச் செல்லும் பாதையின் ஒரு பகுதியில், குறைந்த அலை நீளத்தை உடைய கதிர்வீச்சிலிருந்து அதிக அலைநீளத்தை உடைய கதிர்வீச்சாக மாறும். குவான்டம்கள் வகையில் (பக்கம் 151) மேற் சொன்ன மாறுதல், அதிக ஆற்றல் உடைய சில குவான்டம்களிலிருந்து குறைந்த ஆற்றல் உடைய பல குவான்டம்களாக மாறி இதனால் மொத்த ஆற்றலின் அளவு மாறாமல் இருப்பதேயாகும் என்று சொல்ல லாம். ஆகையினால், ஆற்றல் மேல்நிலையிலிருந்து கீழ்நிலைக்கு இறங்கு தல் அதன் பெரிய குவான்டம்களைச் சிறிய குவான்டம்களாகப் பிரிப்ப தாகும் என்று சொல்லலாம். இந்த வீழ்ச்சியும் பிரிவும் ஏற்பட்ட பிறகு மறுபடியும் இதிலிருந்து முதலிலிருந்தபடியே பெரிய குவான்டம்களை ஏற்படுத்துவது சாத்தியமாகாது. இஃது ‘அம்டி-டம்டி’யை (Humpty-Dumpty) மறுபடியும் சுவரின்மேல் ஏற்றுவது போலாகும்.

இது கீழ்நோக்கிச் செல்லும் பாதையின் முக்கியப் பகுதியானாலும், முழுப்பகுதியாகாது. வெப்ப இயக்க இயலின்படி, ஆற்றல் பல படித் தரங்களில் கிடைக்கும். ஆகையினால், ஆற்றலின் கீழ்த்திசைப்பாதை அதிக அளவிலிருந்து குறைந்த அளவு முறையில் இருக்கும்.

இப்பொழுது, இந்த அதிகாரத்தைத் தொடங்கும்பொழுது நாம் கேட்ட கேள்விக்கே திரும்புவோம். ‘இந்தப் பேரண்டத்தில் பல வகைப்பட்ட உயிரினங்களை வாழச்செய்வது யாது?’ இதற்கு நாம்

முதலில் கொடுத்த விடையான ‘ஆற்றல்’ என்பது போதாது. இதற்குத் தகுந்த விடை ஆற்றல் அதிக அளவில் கிடைக்கும் நிலையிலிருந்து குறைந்த அளவில் கிடைக்கும் ஒரு நிலைக்கு மாறுகின்றது என்பதே யாகும். இஃது ஆற்றலின் வீழ்ச்சி திசை இயக்கமாகும். பேரண்டத்தில் ஆற்றலின் அளவு குறையாததால் அதன் வாழ்க்கை தொடர்ந்து நடைபெறும் என்பது, ஒரு கடிகாரம், அதன் எடை குறையாதிருப்பதால் அதன் முள் எப்பொழுதும் ஓடிக்கொண்டே இருக்கும் என்று சொல்வது போலாகும்.

பேரண்டத்தின் முடிவு

ஆற்றல் எப்பொழுதும் கீழ்த்திசையிலேயே சென்றுகொண்டிருக்க முடியாது. கடிகாரத்தின் எடை எப்படி ஒரு கீழ் எல்லையை அடைகின்றதோ அதேபோல் ஒரு கீழ்மட்டத்தை இதுவும் அடையும். சீக்கிரமோ, சிலகாலம் கழித்தோ ஆற்றல் கடைசியாக நிற்கும் எர்க் அளவில் இதன் கிடைக்கும் திறன் ஏணியின் கடைசிப்படியை அடைந்து, பேரண்டத்தின் வாழ்க்கைக்கே முடிவுகட்டிவிடும். ஆற்றல் இருக்கும்; ஆனால், அது மாறும் திறனை இழந்துவிட்டிருக்கும். ஒரு தரைமட்டமாக அமைந்திருக்கும் குட்டையின் நீர் எப்படி ஒரு நீர்-சக்கரத்தைச் சுழற்ற முடியாதோ அதேபோல் ஆற்றல் பேரண்டத்தை இயக்கும் திறனை இழந்துவிடும். ஆகையினால் வெப்பமான, இறந்த பேரண்டம் இறுதியாக அமையும்—‘வெப்ப-இறப்பு’ என்று சொல்லலாம்.

தற்கால வெப்ப இயக்க இயலின் போதனை இதுவேயாகும். இதை மறுப்பதோ, இதில் ஐயப்படுவதோ முடியாத காரியமாகும். புவியில் நம் அனுபவத்தினால் இஃது உறுதிப்படுகிறது. இதனை எந்த அளவிலும் மறுக்கமுடியாது. இதனால் சுழல் அண்டத்தின் அடிப்படை தள்ளுபடியாகும்—அதாவது ஆற்றின் நீர் கடலைச் சேர்வதும், இந்த நீர் மறுபடியும் ஆற்றைச் சேர்வதும் போலுள்ள அண்ட அமைப்பு. ஆற்றின் நீர் இதேமாதிரி சுற்றிச்சுற்றி மாற்றமடையலாம். ஆனால், இந்தச் சுழற்சிக்கு அப்பாலுள்ள ஞாயிற்றின் வெப்பம் இந்த நிலையை மாற்றுகிறது. பேரண்டத்தை மொத்தமாக எடுத்துக்கொண்டால் இம்மாதிரியான நிலை அமையாது. வெளியிலிருந்து ஏதோ ஓர் அமைப்பு இதை மாற்றும் என்ற கோட்பாட்டைவிட்டு, இறுதியில் பேரண்டத்திற்கு ஆற்றல் கிடைக்காமல் போய்விடும் என்று சொல்லலாம். ஆற்றல் கிடைக்கப்பெறாத ஓர் அண்டம் இறந்தது என்று சொல்லலாம். மாறுபாடு வெப்ப-இறப்பு திசையிலேயே இருக்கும். மனிதர்களைப்போலவே அண்டத்திற்கும் கடைசியில் இடுகாடுதான் அமைந்துள்ளது.

ஆறு கடலில் போய்ச் சேர்வதும், தகுந்த உண்மைகளை எடுத்துக்கொண்டால், மேற்சொன்ன முறையில்தான் அமையும். நாம் இதைச்

சுழல்முறைக்கு உண்மையான உதாரணம் என்று நினைத்தோம். ஆறு, நீர்வீழ்ச்சிகளாகவும், சிறிய அருவிகளாகவும் கடலை நோக்கிச் செல்லும் பொழுது இதன் நீர் வெப்பத்தை ஏற்படுத்துகிறது. இந்த வெப்பம் வெப்பக் கதிர்வீச்சாக வானவெளியில் கலந்துவிடும். ஆனால், ஆற்றை நீர்ப்பெருக்காக வைப்பதற்கு வேண்டிய ஆற்றல் பெரும்பாலாக ஞாயிற்றின் ஒளியிலிருந்து கிடைக்கிறது. ஞாயிற்றின் கதிர்வீச்சை நிறுத்தினால் ஆற்றோட்டம் நின்றுவிடும். ஆறு, ஒளி ஆற்றலை வெப்ப ஆற்றலாக மாற்றுவதனாலேயே நீரோட்டத்தைப் பெறும். குளிர்ச்சி யடைந்துகொண்டேயிருக்கும் ஞாயிறு இந்த ஆற்றலைக் கொடுக்கா விட்டால் ஆறு பெருகாது.

இந்தப் பொதுவிதியை வானவியல் பேரண்டத்திற்கும் பயன் படுத்தலாம். எந்த வழியில் ஆற்றல் குறைகின்றது என்பதுபற்றிய பிரச்சினை இதில் கிடையாது. முதலில் ஒரு விண்மீனின் வெப்பமான உட்புறத்தில் மிகக்குறைந்த அலைநீளங்களையும், அதிக ஆற்றல் திறனையும் உடைய குவான்டம்களாக ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது. இந்தக் கதிர்வீசும் ஆற்றல் விண்மீனின் மேற்புறத்தைவிட்டு வெளி வரும்பொழுது, உட்கவர்ச்சிமூலமாகவும், மறுபடியும் வெளிப்படுத லாலும், எந்தப் பகுதியின் வழியே வெளியேறுகிறதோ அந்தப் பகுதி யின் வெப்பநிலையை யடைகிறது. குறைந்த வெப்பநிலையில் அலை-நீளம் அதிகரிப்பதனால் (பக்கம் 163) கதிர்வீச்சின் அலைநீளம் அதிகரிக் கப்படுகிறது. அதாவது, ஆற்றல் திறனை அதிகமாக உள்ள சில குவான்டம்கள், வலிமை குறைந்த அநேகக் குவான்டம்களாக மாற்றப் படும். இவை சுயேச்சையானவுடன் வானவெளியில், துகள்தூசிகள், வழிதவறிய அணுக்கள், சுயேச்சையாகத் திரியும் மின் அணுக்கள், மற்றபடி விண்மீன் இடைவெளிகளில் இருக்கும் பொருள் இவைகளைச் சந்திக்கும்வரை திரியும். இந்த நிலையில் கதிர்வீச்சின் அலைநீளம் இன்னும் அதிகரித்து, கடைசியில் அளவற்ற சந்திப்புகளினால் மிகப் பெரிய அலைநீளத்தை உடைய ஒரு கதிர்வீச்சு ஏற்படும். குவான்டம் கள் எண்ணிக்கையில் அதிகரித்துவிட்டன என்றாலும் அவைகளின் தனி வலிமைகள் குறைந்துவிடும். ஆகையினால், பேரண்டத்தின் முக்கிய மாற்றம், அணு, அணுக்கரு இவைகளில் சேகரித்து வைக்கப் பட்டிருக்கும் ஆற்றல், குறைந்த அளவில் கிடைக்கும் வெப்ப ஆற்ற லாக மாறுவதாகும்.

தங்கள் விருப்பப்படி நினைக்கும் அநேகர் இந்தக் குறைந்த-மட்ட வெப்ப-ஆற்றல் நாளடைவில் புதிய மின் அணுக்களாகவும், புரோட்டான் களாகவும் மாறிவிடும் என்று கருதுகிறார்கள். இப்பொழுதுள்ள பேரண்டம் கதிர்வீச்சில் கலந்துவிட்டாலும் அவர்களின் கற்பனை யின்படி, பழைய சாம்பல்களிலிருந்து புதிய புவியும், புதிய வானுலகும் ஏற்படும். இந்தமாதிரியான கற்பனைகளுக்கு விஞ்ஞானத்தின்படி

யாதொரு ஆதாரமும் கிடைக்காது. இந்தக் கற்பனை நடக்காது என்று நிரூபிக்காவிட்டாலும், இதன் எதிர்வு எவ்வளவென்பதைக் கணக்கிட்டு அறியலாம். இந்த எதிர்வு மிக அதிக அளவில் இருப்பதால் இது நடக்காத ஒரு காரியமாகும் என்று கொள்ளலாம். அப்படி இருந்தாலும், முடிவில்லாத இம்மாதிரியான திரும்பத் திரும்ப ஏற்படும் ஒரு நிகழ்ச்சியினாலும், அல்லது இந்த நிகழ்ச்சியின் முடிவற்ற மாறுபாடுகளினாலும் என்ன நன்மைகள் கிடைக்கும் என்பதை அறிய முடியவில்லை.

பேரண்டத்தின் முடிவுநிலை, அதன் பொருள்கள் எல்லாம் கதிர்வீச்சாக மாற்றப்பட்ட நிலையாகும். பொருள், வானவெளியில், ஒரு கன சென்டிமீட்டருக்கு 10^{-28} கிராம் அளவில் பரவியிருக்கிறது என்று பார்த்தோம். ஒரு கிராம் பொருளைக் கதிர்வீச்சாக மாற்றினால், 9×10^{20} எர்குகள் அளவில் ஆற்றல் வெளிப்படும். ஆகையினால், 10^{-28} கிராம் பொருளை மாற்றினால் 9×10^{-8} எர்க் அளவிற்கு ஆற்றல் கிடைக்கும். ஆகையினால், இப்பொழுதுள்ள பேரண்டத்தின் மொத்தப் பொருள்களையும் ஆற்றலாக மாற்றினால், ஒரு கன சென்டிமீட்டருக்கு 9×10^{-8} எர்க் அளவுதான் இருக்கும். இது வானவெளியின் வெப்பநிலையை 0°-யிலிருந்து திரவக் காற்றின் (liquid air) வெப்பநிலைக்கு அதிகப்படுத்தும்; புவியின் மேற்புறத்தின் வெப்பநிலையை ஒரு சென்டிகிரேட் டிகிரியில் பத்தில் ஒரு பங்கு அளவிற்குத்தான் அதிகப்படுத்தும். மொத்தப் பேரண்டத்தையும் அழிப்பது மிகவும் அரிது என்று நினைப்பதற்குக் காரணம் அது முற்றிலும் பொருளின்மையால் சூன்யமாக இருப்பதேயாகும். வானவெளியை வெப்பப்படுத்துவதற்கு அதில் உள்ள பொருள் அனைத்தையும் அழிப்பது, வாடர்லூ நிலயத்தை வெப்பப்படுத்தச் சிறிது தூசினைக் கொளுத்துவதுபோலாகும்.

பேரண்டத்தின் பொருள் அனைத்தையும் கதிர்வீச்சாக மாற்றுவது மேற்சொல்லியதைப்போலாகும். ஆனால், மேற்சொன்ன அளவில் வெகு சிறிய அளவே மாற்றப்படலாம். ஆகையினால், நாம் எதிர்பார்க்கக்கூடிய அதிகபட்ச அளவு மேற்சொன்ன அளவைவிட மிகக் குறைவாகவே இருக்கும். வானவெளியில் பொருளின் கதிர்வீச்சு மாற்றம் அடிப்பகுதியையே காணமுடியாத ஒரு பெரிய பள்ளத்தில் கதிர்வீச்சைக் கொட்டுவதுபோலாகும்.

ஆகையினால், விஞ்ஞானத்தின்மூலம் காணும் அளவில், வெகு காலங்களுக்குப் பிறகு பேரண்டத்தின் முடிவு இவ்வாறாக இருக்கும். இயற்கையின் போக்கு மாறினாலொழிய இதுதான் முடிவாகும். இப்பொழுது புவியில் வாழும் ஜீவராசிகள், மேற்சொன்ன முடிவு நிலையில் பேரண்டத்தில் வாழமுடியாது.

வாழ்க்கையும் பேரண்டமும்

இந்த இறக்கும் பேரண்டத்திற்கும், வாழ்க்கைக்கும் உள்ள தொடர்பைப்பற்றி இப்பொழுது பார்ப்போம்.

வானத்தில் காணப்படும் ஒவ்வோர் ஒளிப்புள்ளியும் வாழ்விற்கு ஏற்ற இடமாகும் என்ற பழைய கொள்கை, தற்கால வானநூலுக்கு ஒவ்வாததாகும். விண்மீன்கள் 1650 முதல் 60,000 டிகிரிகள் அல்லது இதற்கு மேலான மேற்புற வெப்பநிலையை உடையனவாகும். இவை களின் உட்புறம் இன்னும் அதிக வெப்பநிலையில் இருக்கும். பேரண் டத்தின் பொருளின் பெருமளவு, விண்மீன் பொருள்களாகும். இது பல மிலியன் டிகிரிகளுள்ள வெப்பநிலையுடையதாகும். இதன் மாலி கியூல்கள் அணுக்களாகவும், அணுக்கள் முற்றிலும் அல்லது ஓரளவு உடைக்கப்பட்டதாயும் இருக்கின்றன. மீதியுள்ளது நெபுலா துகள் களாகவும், வாயுவாகவும் இருக்கின்றது. வாழ்க்கை என்று சொன்னல் அதற்கேற்ற கால அளவு வேண்டும். அணுக்கள் அவைகளின் அமைப்பை ஒரு விநாடிக்குப் பல மிலியன் தடவை மாற்றிக்கொள் வதும், இரண்டு அணுக்கள் எப்பொழுதும் சேர்ந்திருக்கும் நிலையும் எந்த வாழ்க்கையிலும் இருக்கமுடியாது. அதாவது, புவியில் நமக்குத் தெரிந்த வாழ்க்கையில் எதுவும் இருக்கமுடியாது. இந்த வாழ்க்கைக்கு வானவெளியில் ஒருவித இயக்கம் வேண்டும். இந்தக் கட்டுப்பாடும், மேற்சொன்ன கால அளவு கட்டுப்பாடும் சேர்ந்து திரவநிலைக்கு ஏற்ற பௌதிக சூழ்நிலைகளைக் கட்டுப்படுத்துகின்றன. பேரண்டத்தில் நாம் பார்ப்பதற்கும், மற்றபடி நாம் பார்க்க முடியாத முழுப்பேரண்டத் திற்கும் இந்த நிலையில் உள்ள வித்தியாசம் மிகக் குறைவு என்று பார்த்தோம். இதை, விண்மீன்களிலும் இவைகளின் உற்பத்திக்குக் காரணமான நெபுலாக்களிலும் காணமுடியாது. பேரண்டத்தின் பொருளில் மிகச் சிறிய அளவே திரவமாக இருக்கின்றது.

ஞாயிற்றைச் சுற்றிவரும் கோளாகிய நம் புவியைத்தவிர மற்ற எந்தவிதமான வானப்பொருள்களும் உயிர்வாழ்க்கைக்கு ஏற்ற சூழ்நிலைகளையுடையதாகாது என்பது நமக்குத் தெரிந்ததாகும். நம் புவியைப்போன்ற மற்றக் கோள்களும் உயிர்ப்பொருளின் வாழ்க் கைக்குத் தகாத அளவில் அதிக வெப்பமாகவோ, அதிகக் குளிர்ச்சி யாகவோ இருக்கலாம். ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தில், புதனில் திரவங்கள் கொதிக்கும் அளவிற்கான வெப்பமும், நெப்டியூனில் இந்தத் திரவங்கள் திடப்பொருளாகும் அளவிற்குக் குளிர்ச்சியும் இருப்பதால் இவைகளில் உயிர்ப்பொருள்களே இருக்கமுடியாது.

தேவையான சூழ்நிலைகள் இருந்தாலும் உயிர்களின் வாழ்க்கை ஏற்படுமா, ஏற்படாதா? பேரண்டத்தில் எப்படியாவது உயிர்கள்

ஏற்பட்டால் இது விரைவாக ஒவ்வொரு கோளிற்கும், கோள்கள் குடும்பத்திற்கும் பரவி, மொத்தப் பேரண்டமும் உயிரினங்களின் வாழ்க்கையால் சிறப்படையும் என்ற பழைய கொள்கையை இப்பொழுது நிராகரிக்கவேண்டும். வானவெளி மிகக் குளிர்ந்ததாயும், கோள்களின் குடும்பங்கள் மிகப் பரவலாயும் இருப்பதால் இதை நிராகரிக்கவேண்டும். நம் புவியில் உயிர்ப்பொருள் அதனிடையிலேயே ஏற்பட்டிருக்க வேண்டும். இஃது ஒரு வியக்கத்தக்க நிகழ்ச்சியினுல் ஏற்பட்டதா, அல்லது வரிசையாக ஏற்பட்ட பொருத்தங்களினுல் ஏற்பட்டதா, அல்லது அசைவற்ற பொருள்கள் தகுந்த சூழ்நிலைகளில் உயிர்களைப் பிறப்பித்தல் சாதாரண ஒரு நிகழ்ச்சியாகுமா என்பதை நாம் அறிய வேண்டும். இதற்குத் தகுந்த விடையை உயிர்நூல் அறிஞர்கள் கொடுக்கவேண்டும். ஆனுல், அவர்கள் இதுவரை ஒரு விடையையும் கொடுக்கவில்லை.

இதேமாதிரியான உயிர்ப்பொருள்கள் மற்ெருரு கோளிலும் காணப்பட்டால் இதற்கேற்ற விடையை வானநூல் அறிஞர் ஓரளவு கொடுக்கமுடியும். ஏனென்ருல், பேரண்டத்தின் வரலாற்றில் அப்பொழுது உயிர்ப்பொருள் ஒரு தடவைக்குமேல் ஏற்பட்டிருக்கிறது என்பது உண்மையாகும். ஆனுல், இதற்குத் தகுந்த ஆதாரம் இது வரை கிடைக்கவில்லை. பேரண்டத்தில் நம் கோளைத்தவிர வேறு எங்கேயும் உயிர்ப்பொருள் இருப்பதாகத் தெரியவில்லை.

புவியில் உயிர்ப்பொருள் இருக்கிறது என்ற தெளிவான உண்மையைத் தவிர, பேரண்டத்தில் மிகச்சிறிய பகுதியில்தான் உயிர்ப்பொருள் இருக்கமுடியும் என்பதும் உறுதியாகத் தெரியும். பல மிலியன் கணக்கான விண்மீன்களில் இப்பொழுது உயிர்ப்பொருள் தோன்றவில்லை, முன்பும் அமையவில்லை, இனியும் அமையப்போவதில்லை. வானில் உள்ள கோள்களின் குடும்பங்களில் அநேகம் உயிர்ப்பொருளற்றவை. அப்படி இருந்தாலும் சில கோள்களில்தான் இருக்கின்றது. முன்னூறு வருடங்களுக்குமுன் ஜீயார்டேனே புரூனே (Giordano Bruno) சொன்னபடி பல உலகங்கள் இருக்கின்றன என்ற கருத்து பேரண்டத்தைப்பற்றிய நம்முடைய கருத்தைப் பெருமளவும் மாற்றியிருக்கிறது. ஆனுல், இஃது உயிர்ப்பொருளுக்கும் பேரண்டத்திற்கும் உள்ள தொடர்பை நமக்குத் தெளிவாக்கவில்லை. இந்த உயிர்ப்பொருளின் அடிப்படை என்ன என்பதைப்பற்றி இன்னும் நம்மால் ஊகிக்கத்தான் முடிகின்றதேதவிர திட்டமாகச் சொல்ல முடியவில்லை. இஃது அரிதாகத்தான் இருக்கின்றது. ஆக்கத்தின் கடைசிநிலை இதுவானுல், பல மிலியன் வருடங்களாக உயிர்ப்பொருளே இல்லாத விண்மீன்கள், நெபுலாக்கள், வறண்ட வெளியில் ஏற்பட்ட கதிர்வீச்சு இவைகளாக மாற்றும் ஒரு நிகழ்ச்சி வீணுனதாகும். இல்லையானுல் இந்த மாற்றங்கள் ஒரு சிறப்பான முடிவுக்காகத் தற்போது எதேச்சையாக

ஏற்பட்டதா? அல்லது இன்னும் குறைவாகச் சொன்னால், இந்தநிலை பொருள் மிக அதிக வெப்பநிலையிலிருந்து குறைந்த வெப்பநிலைக்குக் குறையும்பொழுது ஒருவித நோயால் பீடிக்கப்பட்டதுபோல் உயிர்ப் பொருளை அழித்துவிடுகிறதா? அல்லது அதிகப் பொருண்மைகளை யுடைய விண்மீன்கள், நெபுலாக்கள், வானப்பொருள்களின் அமைப்புக் கான அதிககாலம் இவைகளின் அடிப்படை உண்மை இதுதானா?

இந்த மாறுபட்ட ஊகங்களில் எது சரி என்று தேர்ந்தெடுப்பது வானநூல் அறிஞரின் பொறுப்பு அன்று. வானநூலின் தகவல்களைக் கொடுத்ததும் அவருடைய வேலை முடிந்ததாகும். இந்தத் தகவல் களால் என்ன கேள்விகள் எழுகின்றன என்பதைச் சொல்லுவதுகூட அதிகப்படியாகும்.

புவியும் அதன் எதிர்காலமும்

மேற்சொன்ன கருத்தியல் கொள்கைகளை விட்டு நம் புவியைப்பற்றி ஆராய்வோம். நம் பாதத்தின்கீழ் கெட்டியான மண்ணையும் நம் தலைக்குமேல் ஞாயிற்றின் கதிரையும் புலனால் அறிகிறோம். எப்படியோ, இந்தப் புவியில் உயிர்ப்பொருள் உள்ளது என்றும் இந்த உயிர்ப் பொருளில் நாம் ஒரு பகுதி யென்றும் அறிகிறோம். ஆகையினால், இதன் எதிர்காலத்தைப்பற்றி வானநூல் என்ன சொல்லுகிறது என்பதை ஆராய்வது ஒரு சுவையான காரியமாகும்.

புவி, ஆரம்பத்தில் ஒரு வெப்பமான வாயுப்பொருளாக இருந்து, படிப்படியாகக் குளிர்ந்து, இப்பொழுது மிகக்குறைந்த வெப்பத்தை யுடையதாக இருக்கின்றது. ஞாயிற்றிலிருந்து கிடைக்கும் வெப்பத் தைத் தவிர வேறு எந்தவிதத்திலும் இதற்கு வெப்பம் கிடைக்கவில்லை. இந்த வெப்பம் கதிர்வீச்சினால் சமனாக்கப்பட்டு அதன் வெப்பநிலை எப் பொழுதும் ஒரே நிலையில் இருக்கும். ஆனால், வெளியில் வேறு ஒரு மாறுதலும் இல்லாதவரைதான் இந்த நிலை உறுதியாகும். அப்படி ஏதாவது மாறுதல் ஏற்பட்டால் புவியின் வெப்பத்திலும் மாறுதல் ஏற்படும். இந்த மாறுதல் படிப்படியாக இருக்கலாம் அல்லது பெரு மளவில் திடீரென ஏற்பட்டுவிடலாம்.

படிப்படியாக மாறும் வகையில், நமக்குத் தெளிவாக இருப்பது, ஞாயிற்றிலிருந்து கிடைக்கும் ஒளி குறைதல், வெப்பம் குறைதலாகும். ஞாயிறு முற்றிலும் ஹைட்ரஜனாலானது என்று நினைத்தால், இதன் பொருண்மையில் 150-க்கு 1 பாகம் ஹீலியமாக மாற்றப்படும் என்பதைப் பார்த்தோம். இந்த மாறுதலால் வெளிப்படும் ஆற்றல் 100,000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குக் கதிர்வீச்சைக் கொடுக்கும்.

ஞாயிறு முற்றிலும் ஹைட்ரஜனை யுடையதன்று. எப்பொழுதும் இவ்வாறு இருந்ததும் இல்லை. ஆனால், ஹைட்ரஜன் அதன் பொருண்மையில் பெரும்பான்மையாக இருக்கின்றது என்று சொல்லலாம். ஆகையினால், பல ஆயிர மிலியன் வருடங்களுக்குக் கதிர்வீச்சு இதே வீதத்தில் கிடைக்கும். அதன் ஹைட்ரஜன் முற்றிலும் பயன்படுத்தப் பட்டபிறகு ஞாயிறு, சிரியஸின் ஒளி மங்கிய கூட்டாளியைப்போன்ற ஒரு வெள்ளைக் குறுமீனாகச் சுருங்கிவிடும். இந்த மாதிரியாக ஞாயிறு சுருங்கினால், நம் புவியின் கடல்கள் பனிக்கட்டிகளாக உறைந்துவிடும்; வளிமண்டலம் திரவக் காற்றாகிவிடும். இந்த நிலையில் புவியில் உயிர்ப் பொருள் இருக்காது. வானத்தில் உள்ள பொருட்காட்சியில் இந்த மாதிரியாகச் சுருங்கிய ஞாயிறுகள் அநேகம் இருக்கும். இவைகளில் சிலவற்றைச் சுற்றி நம் புவியைப்போன்ற கோள்கள் வலம் வரும். இந்தக் கோள்களில் நம் புவியிலுள்ள உயிர்பொருளைப் போன்ற உயிர்ப்பொருள்கள் இருந்து இப்பொழுது முற்றிலும் உறைந்து வாழ்வற்ற நிலையில் இருக்கின்றனவா என்பதை ஊகிப்பதும் கடினமாக இருக்கின்றது.

இதுதான் சாதாரணமாக நடக்கக்கூடிய நிகழ்ச்சியாகும். கடைசி நிலை மேற்சொன்னபடி 10,000 மிலியன் வருடங்களுக்குப் பிறகுதான் ஏற்படும். ஆனால், பல இடைநிகழ்ச்சிகள், மனித வாழ்க்கையை இவ் வளவு காலத்திற்கு நீடிக்கவிடாமல் அழித்துவிடலாம். வானநூலைப் பொறுத்தவரை ஏற்படக்கூடிய நிகழ்ச்சிகள், ஞாயிறு மற்றொரு விண் மீனோடு மோதலாம்; சிறு கோள்கள் ஒன்றோடொன்று மோதிக்கொள்ள லாம்; இவ்வாறு மோதியதால் அதன் பாதையை விட்டு அகன்று புவி யைச் சந்திக்கலாம். மற்றபடி, ஏதாவது ஒரு விண்மீன் தற்செயலாக ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தினுள் புகுந்து, கோள்களின் சுற்றுப்பாதைகளை மாற்றி, இதனால் புவியை வாழத்தகாத ஒரு கோளாக ஆக்கிவிடலாம். இந்த நிகழ்ச்சிகளின் வாய்ப்பு எவ்வளவு என்று நிர்ணயிப்பது கடின மாக இருக்கின்றது. ஆனாலும், ஒரு தோராயக் கணக்கீட்டின்படி, அடுத்த 10,000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குள் இது நிகழாது என்று அறி கிறோம்.

இதைவிட இன்னும் முக்கியமான நிகழ்ச்சி ஞாயிற்றின் ஒளியும், வெப்பமும் அதிகரித்து இதனால் புவியின் வாழ்க்கையை ஒடுக்கி விடுவதாகும். தாற்காலிகமாக ஞாயிற்றைவிட 25,000 மடங்கு கதிர் வீச்சை வெளிப்படுத்தும் புதுமீன்கள் எப்படி வானத்தில் எப்பொழுதா வது தோன்றுகிறது என்பதைப் பார்ப்போம். நம்முடைய ஞாயிறு திடீரென ஒரு புதுமீனாக மாறினால், அதன் ஒளி, வெப்பம் இவை மிக அதிகமாகிவிடும். இதனால் புவியின் உயிரினங்களெல்லாம் எரிக்கப் பட்டுவிடும் என்பது திண்ணம். ஆனாலும், நம் ஞாயிறு ஒரு புது மீனாக மாற வாய்ப்பு இருக்கின்றதா என்பதைப்பற்றி ஒன்றும் தெரிய

வில்லை. இது நடக்குமானால் புவியின் வாழ்க்கைக்கு ஏற்படும் இன்னல்களில் இதுதான் மிகப்பெரியதாகும். இந்தப் புதுமீன்களில் அநேகம், முதலில் ஒரு சாதாரண விண்மீனாக இருந்து, அநேக காலங்களுக்கு முன் இது பார்ப்பதற்கு மங்கலாகத் தோன்றி, பிறகு ஒருசிறிது காலத்திற்கு மிக வெளிச்சமான ஒரு விண்மீனாக மாறி, மறுபடியும் சாதாரண விண்மீனாக மாறிவிடுகின்றன. எல்லாப் புதுமீன்களும் இவ்வாறாகத்தான் ஏற்பட்டிருக்கவேண்டும் என்று சொல்லலாம். இருந்தாலும் சில விண்மீன்கள், அவை புதுமீன்களாக மாறும்வரை காண்பதற்கு அரியவைகளாக உள்ளன. இந்தமாதிரியான ஆவி உருவம் (apparition) அநேகம் உள்ளன. ஒவ்வொரு வருடமும் நம் அண்டத்தில் இம்மாதிரியான உருவங்கள் குறைந்தது ஆறுகிலும் தென்படுகின்றன. இந்தமாதிரியுள்ள தென்படாத உருவங்கள் மற்றும் ஆறு என்று வைத்துக்கொள்வோம். அப்பொழுது நம் அண்டத்தில் மொத்தம் 300,000 மிலியன் விண்மீன்கள் உள்ளன என்று வைத்தால், ஒரு சாதாரண விண்மீன் 24,000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்கொருமுறை புதுமீனாக மாறும் என்று கொள்ளலாம். இந்தப் புள்ளியியல் விவரத்தின்மூலம், 10,000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்குள் நம் ஞாயிறும் ஒரு புதுமீனாக மாறிவிடலாம் என்ற அபாய நிலை உள்ளது என்பதை அறிவோம்.

நமக்கு முக்கியமாகத் தெரியவேண்டியது யாதென்றால், நம்முடைய ஞாயிறு ஒரு புதுமீனாக மாறுமா என்பதே—மண்ணியல் பதிவின்படி கடந்த 1000 மிலியன் ஆண்டுகளுக்கு இது மாறவில்லை. ஒரு சாதாரண விண்மீனை ஒரு புதுமீனாக மாற்றுவதற்குள்ள காரணங்களைப் பற்றியும் இந்தப் புதுமீன்களின் பௌதிக நிலைகளைப்பற்றியும் வான நூல் அறிஞர்களுக்குள் யாதொரு உடன்பாடும் இல்லை. பலவித காரணங்கள் கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இதில் எதுவும் பொதுவாக ஏற்றுக்கொள்ளப்படவில்லை. ஆனால், முதன்மைத் தொடரைச் சேர்ந்த ஒரு சாதாரண விண்மீன் ஒரு வெள்ளைக் குறுமீனாகச் சுருங்கும் பொழுது புதுமீனாக மாறுகிறது என்பதைப் பொருத்தமான காரணமாகச் சொல்லலாம்—இப்படி இருந்தால் நம்முடைய ஆபத்தை இரண்டு முறை கணக்கிடவேண்டியதில்லை.

நடக்கமுடியாத நிகழ்ச்சிகளைத் தவிர்த்தால், மற்றபடி நம் ஞாயிற்றுக் குடும்பத்தின் இயல்பான படிமுறை வளர்ச்சியில் இன்னும் பல ஆயிர மிலியன் ஆண்டுகளுக்குப் புவி உயிர்ப்பொருள் வாழத் தகுந்ததாக இருக்கும் என்று சொல்லலாம்.

அப்படி இருந்தால், காலவரம்பில் கடைசியில் இல்லாமல் முதற் பகுதியில் நம்முடைய வாழ்க்கை அமைந்திருப்பதுபற்றி நாம் மகிழ்ச்சி

அடையவேண்டும். இந்தக் காலம் முழுவதும் மனிதன் வாழ்ந்தானே யானால், இப்பொழுது கிடைத்திருக்கும் அறிவைவிட எல்லையற்ற அளவிற்கு அறிவைப் பெற்றிருப்பான்—ஆனால், உணர்ச்சியைத் தூண்டக்கூடிய புதிய அறிவைப் புகட்டும் புது முயற்சியாளரின் மகிழ்ச்சியைப் பெறவேமாட்டான். பிணியும் இறப்பும் நீங்கி வாழ்க்கை அபாயமற்றதாகவும், இப்பொழுது இருப்பதைவிடச் சிறந்ததாயும் இருக்கும். அப்பொழுது, மனிதன் புதிய நாடுகளுக்குச் சென்றதாலோ, இதுவரை ஏறமுடியாத மலைகளில் ஏறியோ, அல்லது துஷ்ட மிருகங்களை வேட்டையாடியோ உயிரை நீத்தான் என்று கேட்பதே நம்பத்தகாத ஒரு செய்தியாகும். வாழ்க்கை சாதாரணமாகவும் துணிகரமற்றதாகவும் இருக்கும். மனித இனம் ஒரு குறித்த காலத்தில் அழிந்து அதோடு அதன் நம்பிக்கை, முயற்சி, வெற்றி எல்லாம் அழிந்துவிடுவதும் நோக்கமற்ற ஒரு நிகழ்ச்சியாகும்.

புவியில் உயிர்ப்பொருளுக்கு உற்ற காலமாகிய 10,000 மிலியன் ஆண்டுகள், புவியின் கடந்தகாலத்தைப்போல் மூன்று மடங்காகும். இது புவியில் மனிதவாழ்க்கை இருந்த காலத்தைப்போல் 10 000 மடங்கு அதிகமாக இருக்கும். இந்தக் காலங்களை இன்னொருவிதமாக உருவகப்படுத்தலாம். ஓர் அஞ்சல் தலையை (stamp) ஒரு பென்னியின்மேல் ஒட்டவும், கிளியோபாட்ரா ஊசியை (Cleopatra's needle) நிறுத்தி அதன்மேல் பென்னியைச் சமதளமாக வைக்கவும். இந்த அமைப்பின் மொத்த உயரத்தைப் புவியின் கடந்தகால அளவாக வைக்கலாம். இந்த அளவு முறையில் பென்னியின் பருமனும் அஞ்சல் தலையின் பருமனும் சேர்ந்தால் கிடைக்கும் உயரம் மனிதனுடைய கடந்த வாழ்க்கைக்காலமாகும். இதில் பென்னியின் பருமன் அவன் நாகரிகமில்லாமல் வாழ்ந்த காலத்தையும், அஞ்சல் தலை அவன் நாகரிகத்தோடு வாழ்ந்த காலத்தையும் குறிக்கும். இதற்கு அடுத்து, 10,000 வருட நாகரிக காலத்தைக் குறிக்கும் இன்னுமோர் அஞ்சல் தலையை ஒட்டவும். இவ்வாருகவே 'வெஸ்ட்மின்ஸ்டர் ஆபி' (Westminster Abbey) அவ்வளவு உயரம் வரும்வரை அஞ்சல் தலைகளை ஒட்டிக்கொண்டேபோனுல், இதுகூட மனித வாழ்க்கையின் நாகரிக காலத்தின் எதிர்கால அளவாகாது. இது வானநூலினுல் நாம் அறியக்கூடிய அளவாகும். இதற்குள் இடையூறு ஏதாவது வந்தால் தான் இந்த நிலை மாறும். மேற்சொல்லிய அமைப்பில், முதலில் ஒட்டப் பட்ட அஞ்சல் தலைதான் கடந்த நாகரிக காலமாகும். 'ஆபி'யின் உயரத்தைவிட அதிக உயரமான ஒரு தூண் மனிதவாழ்க்கையில் நாகரிக காலத்தின் எதிர்காலத்தைக் குறிக்கும். இன்னொருவிதமாக இதனைப் பார்த்தால், முதல் அஞ்சல் தலையை இதுவரை அவன் செய்த சாதனைகளாகவும், 'வெஸ்ட்மின்ஸ்டர் ஆபி'யைவிட அதிக உயரமான ஓர் அடுக்கை அவன் இனி செய்யப்போகும் சாதனைகளின் அளவாகவும்

கூறலாம். இதில் அவன் சாதனை அவன் வாழ்நாளுக்கேற்ப எளிய விகிதமாக இருக்கும் என்று கொள்ளவும்.

இதுவரையில் அவனுடைய சாதனை அவனுடைய காலத்திற்கேற்ற எளிய விகிதத்தில் இல்லை என்று நமக்குத் தெரியும். சிலவகைகளிலாவது—உதாரணமாக, பொறித் தொடர்புள்ள கலையைப் பொறுத்தவரை—நாம் அதிக அளவில் முன்னேறிக்கொண்டிருக்கிறோம். அடுத்து வரும் தலைமுறைகளின் சாதனைகள் ஒரே அளவில் இல்லை. இது பெருக்குத் தொடரில் இருக்கின்றது. ஆகையினால், இப்பொழுது ஒரு தலைமுறையில், ஆயிரம் ஆண்டுக் காலத்திற்குமுன் அது தொடங்கும் பொழுது உள்ளதைவிட அதிக அளவில் இருக்கிறது. இந்தமாதிரி விரைவாக முன்னேற்றமிருந்தால், வானநூலின்படி நிர்ணயிக்கப்பட்ட புவி வாழ்க்கையின் எதிர்காலத்தின் முடிவில் எவ்வளவு முன்னேற்றமிருக்கும் என்பதை நினைத்துப் பார்க்கவே முடியவில்லை. ஆனால், இந்த முன்னேற்றத்தின் வேகத்தைக் குறைக்கப் பல காரணங்களைச் சொல்லலாம்.

இவ்வளவு எதிர்காலம் நிச்சயமற்றதாகும். தனி மனிதர்களுக்கு ஏற்படுவதுபோல் இனத்திற்கும் விபத்து ஏற்படலாம். வானத்தில் மோதல் ஏற்படலாம்; ஞாயிறு ஒரு வெள்ளைக் குறுமீனாகச் சுருங்கி, புவி உயிர்ப்பொருளை உறைந்துவிடும்படி செய்யலாம்; திடீரென ஒரு புதுமீனாகத் தோன்றி நம் இனத்தை எரித்துவிடலாம். விபத்து, நம்முடைய அஞ்சல் தலையினால் செய்யப்பட்ட கோபுரத்தை, முனை வெட்டப்பட்ட ஒரு தூணாக மாற்றிவிடும். இந்தத் தூண் நாம் கூறிய உயரத்தில் ஒரு சிறிதளவு உயரத்தையே உடையதாகும். ஆகையினால், நம் இனத்திற்குரிய 'எதிர்பார்க்கும் ஆயுள்' பல ஆயிர மிலியன் ஆண்டுகள் அளவில் இருக்கும். இந்தக் காலத்தை மனிதனால், கணக்கறிஞர்களைத் தவிர்த்து, தெளிவாக எண்ணிப்பார்க்கவே முடியாது. நடைமுறைக்குத் தகுந்தபடி சொல்வோமானால், நாம் நினைக்கும் கால அளவிற்கு மேலான காலத்திற்கு வாழ்க்கையும், நாம் நினைக்கக்கூடிய அளவிற்கு மேலான சாதனைகளும் முடியும்வரை புவியில் நாம் இருப்போம் என்ற பொருள்படச் சொல்லலாம்.

வானவெளியைப் பொறுத்தவரை, வானநூலின் செய்தி வருந்தத்தக்க சிறப்பு, கொடுமை நிரம்பிய பரந்த அமைப்பு என்பதாகும். கால ரீதியாகப் பார்க்கப்போனால், இது முடிவற்ற நம்பிக்கையும் நிகழ்ச்சியுமாகும். நாகரிகமடைந்த புவியில் வாழ்பவர்களாகிய நாம் காலத்தின் ஆரம்பத்திலேயே வாழ்கிறோம். நாம் மகிமை நிரம்பிய தூய விடியற்காலையில் பிறந்திருக்கிறோம். நம்முடைய எதிர்காலம் நம் கற்பனையைப் பொறுத்தவரையில் ஓர் அளவற்ற நீண்ட நாளாகும். இதில் நம்

சாதனைகளுக்கு வேண்டிய நினைக்கமுடியாத வாய்ப்புகள் இருக்கின்றன. மற்றொரு முனையிலிருந்து நம் காலத்தைக் காணும் நம் பின்வரும் மரபினர் இந்தக் காலத்தை உலகத்தின் வரலாற்றின் மூடுபனியினால் சூழப்பட்டு, தெளிவில்லாமலிருக்கும் காலையாகக் காண்பார்கள். நம் காலத்தவரை வீரம் நிரம்பியவர்களாயும், அறியாமை, தவறு, மூட நம்பிக்கை என்ற கானகங்களில் வழிதெரியாமல் உண்மையைத் தேடி அலைபவர்களாயும், இயற்கையின் விசைகளைத் தங்கள் வாழ்விற்குரிய வகையில் பயன்படுத்த முனைபவர்களாயும் காண்பார்கள். நாம் இன்னும் இருள்சூழ்ந்த மூடுபனி நிரம்பிய காலையில் இருப்பதனால், நமக்குப் பிறகு, நல்ல வெளிச்சம் நிரம்பிய நாளில், நமக்குப்பின் தோன்றுபவர்களுக்கு நம் உலகம் எப்படித் தோன்றும் என்பதை நினைத்துப் பார்க்கக்கூட இயலாதவர்களாய் இருக்கின்றோம். நமக்கு வானநூலினால் கிடைத்த முக்கியச் செய்தியினால் நம் இனத்திற்கு நம்பிக்கையும், தனி மனிதர்களுக்கு பொறுப்பும் ஏற்படும் ஓர் எதிர் காலம் இருக்கின்றது என்பதை அறியலாம். பொறுப்பு என்று சொல்வது, நாம் நினைக்கக்கூடிய அளவிற்கும் அதிக அளவில் நீண்ட எதிர் காலத்திற்கு வேண்டிய திட்டத்தை வகுத்துக்கொண்டிருக்கிறோம் என்பதையும் இதற்கு வேண்டிய அஸ்திவாரத்தை நிலைநாட்டுகிறோம் என்பதையும் குறிக்கின்றது.

பொருள் அட்டவணை

α - அக்விலி, 201
அக்வாரிட்ஸ், 288
அட்கின்சன், 167
அட்மிரல் டி சார்ட், 60
அட்லான்டிக் பெருங்கடல், 310
அண்ட - அமைப்பு, 82
—கதிரியக்கம், 134, 135, 138, 139, 146
—கும்பம், 100
—குடும்ப அமைப்பு, 65
—சுழற்சி, 68
—டிஸிட்டரின் கோட்பாடு, 86, 81, 89
—நெபுலாக்கள் (தனிச்சிறப்பு)- தொலைவு, 75
—பொருண்மை, 135
அணு - அமைப்பு, 103, 119, 126
—ஆராய்தல், 103
—இரவைகள், 240
—எடை, 144, 124
—எண்கள், 123, 124, 125, 127
—கருக்கள், 122, 123, 132, 157
—தத்துவம், 104
—பகுதிப்பொருள்கள், 145
—விட்டங்கள், 160
அணுக்கள், 116
அம்மோனியா, 306
அம்டி - டம்டி, 313
அயனியாக்கல், 220, அயனியான அணுக்கள், 221
அரிஸ்டாடில், 5
அரிஸ்டார்கள், 2, 12
அரிஸோனா, 18
அரை நெபுலாக்கள், 283
அலைகின்றவை, 95
அலை - எழுச்சி, 283, 289
—எழுச்சிக்கோட்பாடு, 274
—எழுச்சிக்கொள்கை, 282
அலை எழுச்சி உராய்வு, 289, அலை எழுச்சித் தகர்வு, 280
அலைச் செயல், 262, 263
அலை நீளம், 161, 190
அலை - பொறிநுட்பவியல், 154, 275
அலைவெண், 142,.153
அலுமினியம், 185
அவர்கிளாஸ், 171, 172

ஆக்ஸிஜன், 118
ஆக்டினியம், 174
ஆங்க்ஸ்ட்ராம் அலகு, 183
ஆடம்ஸ், J. C., 17
ஆடம்ஸ், W. S., 63
ஆடம்ஸ், 186
ஆண்டிரோமீடிட், 288, அந்தோனியாடி, 296
ஆலன், 80
ஆல்பா துகள்கள், 120
β ஆருகி, 56
ζ ஆருகி, 56
η ஆருகி, 192
ஆர்கான், 185
ஆர்தர் எடிங்டன், 90
ஆற்றல், 109, 314, 318
ஆற்றல்— இடப்பெயர்ச்சி, 227
—சமப்பங்கு, 112, 113, 216
—சேமிப்பு விதி, 44, 45, 46, 47, 48
ஆன்டர்சன் - சி. டி., 138
ஆன்ட்ரோமிடா, 73, 74

—எடை, 79
—தொலைவு, 74
—நெபுலா, 252
ஆஸ்டன், 126

இக்னியஸ், 175
இமானுவல்கான்ட், 269
இரட்டைத்தொகுதிகள் - மறைக்கும், 55, 56, 57
—விண்மீன்கள், 41, 43, 49
இரடாஸ்தனிஸ், 31
இரண்டுபொருள் கோட்பாடு, 274
இரும்பு, 37, 185
இன்டர் ஃபெராமீட்டர், 192

ஈதர், 83
ஈதேன், 306
ஈர்ப்பு - ஆற்றல் விதி, 43, 48
—நிலையற்ற தன்மையின் தன்மை, 242
—விசை, 43, 44, 83
ஈயம், 173
ஈராஸ், 32

உமாசன், 78
உருண்டைக் கொத்துகள், 63
உல்ஃப், 196, 205, 359
உஷ்ணமானி (வெப்பமானி), 30, 34, 115

ஊர்ட், 68
ஊழிக்கூளம், 276
ஊழிப்புரட்சி, 277

எக்ஸன்டிரிஸிடி, 48
எக்ஸ்கதிர், 231
எடிங்டன், 69, 90, 223
—கோட்பாடு, 90, 92
எடுகோள், 238
எபிஸைகில், 3
எம்டன், 220, 223
எல்லிஸ், 161
எலிப்ஸாயிட் (கன நீள்வட்டம்), 250
எலெக்ட்ரான், 121, 126, 145, 163, 165
—சுற்றுப்பாதைகள், 121, 153
ε - எரிடானி, 198, O_2 - எரிடானி, 202
எரிபந்து, 285, எரிமீன், 122
ஐசோடோப்புகள், 126, 145, 174
ஐன்ஸ்டைன், 82, 151, 193
—அண்டப்படைப்புக் கோட்பாடு, 85, 86, 87
—ஈர்ப்பு ஆற்றல், 45, 46, 81
—குவான்டம் கொள்கை, 146
—தொடர்புக் கோட்பாடு, 82, 83

ஒளிப்படத் தகடுகள், 215
ஒளிப்படத் திருப்பம், 41

ஓசோன், 299
70 ஓபியுசி, 50
ஓரங்மே, 3
ஓரியன்பெல்ட், 42
μ - ஓரியானிஸ், 39

ஃப்ரான் ஹாபர், 36, 150
—கோடுகள், 37
ஃப்ரீட்மான், 89
—லெமைத்திரி, 246
ஃப்ளாக்ஸ் டாஃப், 18
ஃபாரடே, 147
ஃபாரன் ஹீட், 114
ஃபிஜோ, 193
ஃபிலோலாஸ், 2
ஃபிளாண்டர்ஸ், 1
ஃபுளூரின், 184
ஃபௌவர், 145
க்யூபர், 55
α - கதிர்கள், 129, 131
β - கதிர்கள், 129, 130, 131

γ - கதிர்கள், 132, 133, 136, 137, 143, 144, 151
X - கதிர்கள், 151

கதிரியக்கம், 128, 140
—பொறி விளைவுகள், 159
—கடிகாரம், 173
கதிர்வீச்சின் அழுக்கம், 225
கந்தகம், 118, 185
கமபெரின்ஸாஸ், 76
கலிலியோ, 1, 2, 5, 15, 18
கன நீள்வட்டம், 55

காக்கி, 175
காந்தம், 129
காப்டீன், 22, 23
காம்போஜ் (லேக்கோ போடியம்), 115
கார்ப்பஸல்கள், 136
கார்பன், 118, 185
கார்பன் எரிக்கம்பி, 162
காரீயம், 129
கால ஆராய்ச்சி, 170
காலே விண்மீன், 16
கால்சியம், 163, 118, 185, 37
காஸ்மாலஜி, 246
காஸினி, 18

கிர்சாஃப், 37
கிரஹாம், 114
கிரேமர்ஸ், 229, கிரேம்ரிஸ் வாய்பாடு, 230
கிளியோபாட்ரா ஊசி, 322

குறுமீன்கள், 209
குரூகர் 60A, 199
குரூக்ஸ், 119
குரோமியம், 185
குவான்டம், 151
—கொள்கை, 146
குளோரின், 118, 185

குழிக்கதிரியக்கம், 147
குறைமெகலனிக் மேகங்கள், 59
குஸா, 3

கூட்டணுக்கள், 240, கூட்டணு குண்டுகள், 240

கெப்ளர், 48
கெர்மாக், 97
கெல்வின், 178, 218
கெமௌ, 167, 234

கொத்துகள்
—இயங்கும் (கொத்துகள்), 42
—உருண்டை (கொத்துகள்), 63, 64, 65
—விண்மீன் (கொத்துகள்), 254
கொத்துமாறிகள், 57

கோண இயக்க விசையின் சேமிப்பு, 249
கோதாரி, 228
கோபன் ஹாகன், 149
கோபர்னிகஸ், 4, 5, 6, 24, 29
கோபால்ட், 185
கோபாஷ்கின், 208
கோல்ஸாக், 27
கோள்கள், 34, 121
—சுற்றுப்பாதை, 272, 278
—படிமுறை வளர்ச்சி, 278
—பௌதிக நிலைகள், 290
—வளிமண்டலங்கள், 211, 292
—வெப்பநிலைகள், 291

கௌலிங், 228

சக்தி (ஆற்றல்), 109, 314
சக்தியின் சமக்கூறு, 112
சந்திரன், 267
—மேற்புறம், 294

சந்திரசேகர், 237
சப்தரிஷி, 255
சனி, 15, 16, 280, 304, 305
சார்புக் கொள்கை (தத்துவம்), 193
சார்லியர், 69

சிக்னி, 199
சிகாகோ, 275, சியாபரல்லி, 296,
சிரியஸ் A, 196
சிரியஸ் தொகுதி அமைப்பு, 196
சிரீஸ், 16
சிவப்பு விண்மீன்கள் ε இன்டி, 199
சிற்றலைகள், 140
சிறுகோள்கள், 16

சுருக்கலின் அமைப்பு முறை, 242
சுருட்டு வடிவம், 259
சுருள்வில் தராசு, 90
சுற்றுப்பாதை, 56
சுற்றுப்பாதைத் தளம், 282
சுழல் முறைகள், 310
சுழன்றுகொண்டிருக்கும் வாயுப் பொருண்மைகள், 249

O - செடி, 207
செம்பு, 185
செவ்வாய், 15, 241, 282
—மேற்புறம், 294
செயின்ட்வைடஸ், 115

சோடி, 128
சோடியம், 118
சோன்பர்க், 237

ஞாயிறு - கதிரியக்கம், 176
—குடும்பம், 121, 175
—சுழற்சிப் போழ்து, 252
—வளிமண்டலம், 40, 177

ட்ரம்பளர் விண்மீன்கள், 51,
டாக்ஸ்டார் (சிரியஸ் A), 196

டாப்ளர் விளைவு, 39
டாலமி, 3, 5, 6, 8, 29

டிஃப்ராக்ஷன் கிரேடிங், 147
—பாடர்ன், 193
டிடன் (துணைக்கோள்), 18
டிடானியம், 185
டிராக், 139
டியூட்ரான்கள், 167

டீஸிட்டர், 86
டீஸிட்டரின் அண்டக்கோட்பாடு, 87

டெல்லர், 167, 234

டௌகனி, 64, 74

தம்மன், 298
தனிமம், 117
தாமஸ்ரைட், 269

திருவாதிரை, 191

α - துகள்கள், 129
β - துகள்கள், 130

தொடக்க - குழப்பம், 245
—நெபுலாக்கள், 246
—வாயு, 246

தோரியம் - c^+, 130

நசிவு - இயற்கை (நசிவு), 139
—சுய (நசிவு), 128

நிக்கல், 185
நிகோலாஸ், 3
நிறமாலை, 141
—காட்டி, 38
—சுழற்சி, 40
—பகுப்பாராய்ச்சி, 36

—பாரலாக்ஸ், 63
—நேர்வேகங்கள், 38
—மாற்றம், 193
நிறமாலைவகை இரட்டை விண் மீன்கள், 54
நியான், 157
நியூட்டன், 83
—விதி, 47, 48, 49, 242

நீடில்ஸ், 171
நீர் பொருளாக்கும் அறை, 139
நீலவிண்மீன்கள், 192, 258

நெடுநாள் மாறிகள், 59
நெப்டியூன், 15, 16, 17, 28, 289, 307
நெபுலாக்கள், 25
—அண்ட (நெபுலாக்கள்), 26
—அரை (,,) 283
—ஊழ்நிலை, 48
—எடை, 80, என். ஜி. ஸி. 4594, 251
—கோள், 25
—தனிச்சிறப்பு அண்ட, 27, 73
—தொலைவு, 74, 76
—நிறமாலைகள், 77
—நிறமாலை வகைகள், 187
—பிறப்பு (பெரிய நெபுலாக் களின்), 248
—பொருண்மை, 79
—மாற்றம், 193
நெபுலாக் கோட்பாடு (லாப்லா ஸின்), 270

நேகர், 137, 146
நேர்வேகம் - நிறமாலை, 38, ஒலி யின், 243

நைட்ரஜன், 118, 184
—அணுக்கரு, 168, 169

நோவா அகிலி, 188 [188
நோவி (புது விண்மீன்கள்), 62,

ப்ளாக்கெட், 138
ப்ளாங்கட் (விண்மீன்), 51
ப்ளியாடீஸ், 42
ப்ளேடோ, 267
பஃபன், 269, 270, 274
பட்டகம், 141
பதுவா, 1
பர்ஸிவல்லோவல், 18
பலவகை வானவெளி, 94
பாயங்கரே, 68, தேற்றம், 218
பால் மண்டலம், 21
பால் வழி, 21
பாரலக்டிக் இயக்கம், 30
பாஸ்பரஸ், 118, 185
பாஸிடிரான்கள், 138, 168

பிக்கரிங், 146, பிக்கர்டன், 274
பிக்டுமிடி, 303
பிகுவிரில், 128
பிதாகரஸ், 2, 5 பிராக்டர் (ஆர். ஏ.), 274
பிரௌனியன் அசைவு, 115
பியாஸி, 16
பிளாங்கெட், பி. எம். எஸ்., 69, 133, 206
பிளாங்கு, 148, 151, 156
பிளையாடீஸ், 255

பீட், 7
பீலா, 288

புதன், 15, 16, 34
—மேற்புறம், 294
—வளிமண்டலம், 241
புமிஸ், 294
புரோட்டான்கள், 126, 127, 145, 168, 169, 239
—எதிர்காலம், 319

புரோஸியான் தொகுதி, 199
—ஈர்ப்பு ஆற்றல், 47
புவி, உட்புறவியல், 172
—எதிர்காலம், 319
—ஒரு கோளாக, 15, 16, 240
—துருவ விட்டம், 31
—பரிமாணம், 31
—பிறப்பு, 280
—மத்தியதள விட்டம், 31
—வயது, 13, 170, 171, 175, 176
புரூனோ, 3, 4, 318
புளூடோ, 193, 307

பெக்கர், 134
பெகாஸஸ், 76
பெட்டிட், 291
பெர்சைட்ஸ், 288
பென்ட்லி, 242
பெரிலியம், 158, 185
பெரிநைஸின்முடி, 42
பெரின், 115
பெரும் நெபுலாக்களின் பிறப்பு, 248
பெரு மீன்கள், 209
பெலிஸாரியோவின்டா, 4

பேப்காக், 80
பேயன் (மிஸ்), 186
பேரண்டம் - அமைப்பு - மாதிரி அமைப்பு, 99
—பகுத்தாராய்தல், 239
—பரிமாணம், 92

போட்விதி, 268, 289
போதே, 134
போர், 121, 149, 153, 155, 158
போரான், 168, 185
போலோமீட்டர், 291

பௌதிகம், 260
பௌவன், 146

மக்னீசியம், 185
மத்தியதள விட்டம், 31
மத்தியரேகை, 251
மவுன்ட் வில்சன், 2, 186

மாக்னிடியூட், 61
மாக்ஸ்வல், 113, 147
மாங்கனீஸ், 185
மாயால், 28, 80
மாலிக்யூல்கள் (கூட்டணுக்கள்), 105, 106, 143
—மோதல்கள், 111
—பொருளியக்கம், 148
மாலை விண்மீன், 16

மிக்கல்ஸன் - மார்லி, 83
மிகல்சன், 193
மியூனிச், 15040, 196
மில்லிகன், 137, 146
மில்ன், 96, 97, 98
—கோட்பாடு, 96
மின்அமைப்பு, 159
மின்காந்த சக்தி, 140, 148
மின்சார வில், 165
மின்விசைகள், 220

மீதேன், 306

முழு ரேடியேட்டர்கள் (முழுக்கதிர் வீசி), 148, 183

மூனிச், 15040, 34

மெம்ஃபிஸ், 172
மெக்விட்டீ, 99
மெர்கேட்டர், 97
மெரோல் (விண்மீன்), 27

மேசான், 139
மேரியஸ், 27

யுரேனஸ், 15, 16, 17, 268, 307

யுரேனியம், 173, 174, 175
—(ஆக்டினோ), 56, 174, 175

யேல், 6

ரஸ்ஸல், 175, 184, 185
—படம், 210, 211

ராபர்ட்மேயர், 177
ராமெஸெஸ் II, 172
ராய்ட்ஸ், 129
ராலே, 105
ராஸ், 198, 248

ரிகினர், 135

ரீஜண்ட், 102

ருதர்ஃபோர்டு, 120, 128, 129, 153, 166, 174

ரைட், 300, ரோச் - எல்லை, 284, 287

ரோஜர், 1

லாப்லாங், 270, 271
லாரிட்சன், 145
லாவா, 294
லாவாண்டே, 21, 185, 196

லிதியம், 124, 158
லிண்டுப்ளாட், 69
லிப்பர்ஷே, 1
லியோனிட்ஸ், 288
லிஸியூ, 3

லுக்ரீடியஸ், 117

லூஸிபர், 16

லெமைத்திரி, 89

லெவரியர், 17
லெவிட் (மிஸ்), 59
லெனார்ட், 119

லையொட், 294
β - லைரி, 51, 55

வட்டநெபுலா, 208
வத்தித்திறன், 52
வளி (மண்டலம்) - புவியின், 306
—பந்து, 240
—விண்மீன்களின், 118
—ஞாயிற்றின், 40, 177

வாடர்லூ நிலையம், 101, 122, 209
வால்மீன், 122
வாயுநிலை, 106
வான்மானன் விண்மீன், 200, 208
வானத்தேர்ந்தெடுப்புகள், 256
வானவெளி ஆய்வு, 62
வானவெளியில் உட்கொள்ளும் பொருள், 66
வானவியல் தத்துவம், 96

விண்மீன்(கள்) - அமைப்பு, 227
—ஆற்றலின் இடப்பெயர்ச்சி, 227
—உட்குடும்பங்கள், 67
—உட்கொத்துகள், 67
—இயைபுக் கூட்டுகள், 37
—இரட்டைத் தொகுதிகள், 41
—கூட்டங்கள், 41
—தொலைவு, 30, 33, 34, 35, 59, [60, 61, 62
—நிறமாலை, 193
—படிமுறை வளர்ச்சி, 232
—பிறப்பு, 253
—பொருண்மை, 193, 202
—பொருள் சார்ந்த இயல்பு, 194
—மண்டலங்கள், 42, 191
—மேற்புற வெப்பநிலைகள், 182
—விட்டம், 193

விர்கோ, 251, வில்ட், 299
வில்லியம் ஹிக்கின்ஸ் (ஸர்), 38
வில்ஸன், ஸி .டி. ஆர்., 131, 133

வெப்பம் - அணுக்கரு இயக்கம், 111, 166
—கதிர்வீச்சு வெப்பம், 291
—சிவப்பு, வெள்ளை, 162
—நிலை, 163, 219
வெப்ப இறப்பு, 314
வெப்பநிலைக் கதிரியக்கம், 162
வெப்பமானி (உஷ்ணமானி),30, 34
வெப்பத்தின் விளைவுகள், 163
வெள்ளி (கோள்), 16
வெள்ளி புரோமைட், 160
வெள்ளை குருமீன்கள், 214
வெளிச்ச அளவு, 52, 192, 203

வேகா, 30

வைஸ், 146

ஸ்பென்சர் ஜோன்ஸ், 33
ஸ்ட்ரான்ஷியம், 37
ஸ்ட்ரூவ், 30
ஸ்ட்ரோம்பர்க், 71, ஸர்ஜார்ஜ் டார்வின், 264
δ - ஸிவை, 57

ஸிபைட்மாறிகள், 57, 59, 60, 73
ஸின்க்ளேர்ஸ்மித், 81, ஸீயர்ஸ், 216

ஸீபர்நோவி, 204

ஸெச்சி, 38, ஸெட்ஜ்விக் (டபிள்யூ எஃப்), 274

ஸென்டாரி, 195, 233
(ப்ராக்ஸிமா) 33, 34, 35
α - 34, 42, 255, α - சென்டாரிர், 195
ω - 59

ஜான்ஸ்ட்ரா, 188, ஜெஃப்ரீஸ்(எச்), 274, 290, ஜெராஸிமோவிக், 297

ஹக்கின்ஸ் (ஸர் வில்லியம்), 38, ஜென்டிலி, 303
ஹப்பிள், 78, 254
ஹயாடீஸ், 255

ஹாலி, (வால்மீன்), 285

ஹீலியம், 37, 184, 306

ஹெர்குலிஸ், 191
ஹெட்ஸ்ப்ரூஸ், 63
ஹெர்ட்ஸ்ப்ரங்கு, 209
ஹெர்ஷல் (ஸர் வில்லியம்), 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23
ஹெர்ஷல் (ஸர் ஜான்), 19, 20
ஹெல்ம் ஹால்ட்ஸ், 178
ஹெஸ்பிரஸ், 16

ஹேகன்ஸ், 18

ஹைட்ரஜன், 37, 184, 306, 320
ஹைபர் போலோ, 48

ஹொட்டர்மான்ஸ், 167
ஹோம்ஸ் - ஆர்தர், 171